وزارة التعليم العالي
المعهد العالي للسياحة والفنادق وترميم الآثار
أبوقير – الإسكندرية

محاضرات في

علاج وصيانة الآثار الخشبية

دكتور
إبراهيم محمد عبد الله
المشرف على قسم ترميم الآثار



المحتويات

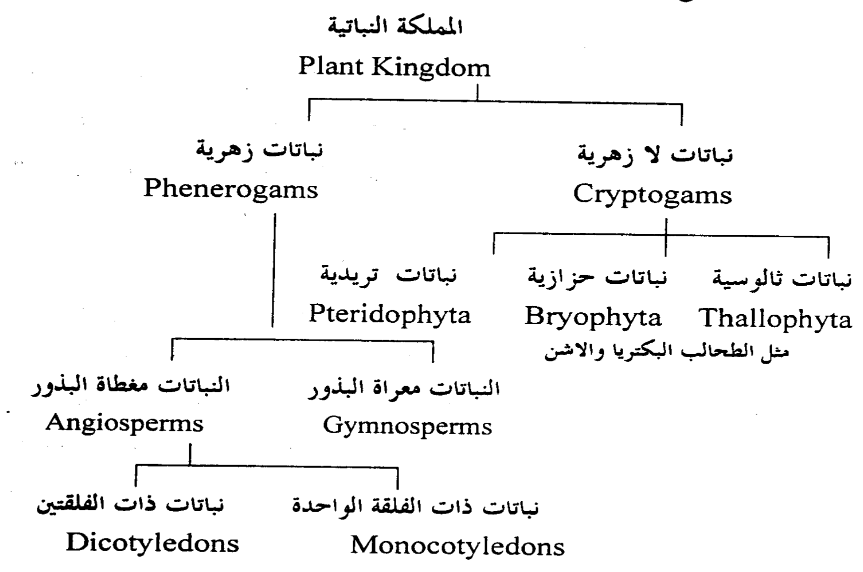
الفصل الأول

تركيب الخشب

تركيب الخشب

لدراسة علاج وصيانة الأخشاب وكيفية تناولها وملائمة مواد العلاج والترميم لها لابد من دراسة الأخشاب من حيث تركيبها التشريحى وأنواعه وتركيبها الكيميائى والفيزيائى للتعرف على خواصها :

أولاً موقع الأخشاب فى المملكة النباتية :



ويتضح من التقسيم السابق أن النباتات الزهرية هى نباتات أكثر رقيا وتعقيدا من اللازهرية حيث أنها تحمل زهورا تعتبر أعضاء التكاثر و بإخصابها تنتج ثمارا وبذورا فهى

نباتات بذرية أى تتكـاثر بالبـذور وهـى تنقـسم إلى : النباتـات معـراة البـذور Gymnosperms وهى التى تحمل بذورها عارية على الكرابل وغير مغلفة بأغلفة المبيض أو النباتات مغطاة البذور Angiosperms فإنها تحمل بذورها مغلفة داخـل الكرابـل بأغلفة المبيض وهى تشتمل على :

١- مجموعة النباتات ذات الفلقة الواحدة Monocotyledons

وهى تحمل ورقة فلقية واحدة نهائية على محور النبات والحزم الوعائية عددها كـبير ومبعثرة وموزعة بطريقة عشوائية فى الساق وهى تشتمل على ٧ رتب منها أشجار النخيل phoenix spp. (Palms) والبامبو Bamboo ونخيل جوز الهند وهذه الأشـجار لا يحصل منها على خشب وشبه منتجة للخشب .

٢- مجموعة النباتات ذات الفلقتين Dicotyledons

وهى التى تحمل ورقتين فلقتين وهى وريقات جانبية والحزم الوعائية عددها محـدود ومنتظمة ومرتبة بشكل حلقة ومن هذا الترتيب الدائرى تنشأ الأسطوانة الوعائيـة الـتى تحيط بالنخاع Pith ومن هنا نجد أن الخشب ينتج فقط من الأشـجار معـراة البـذور Gymnosperms ومغطاة البذور Angiosperms

تتبع الأشجار معراة البذور Gymnosperms ٤ رتب تعتبر رتبة معراة البذور Coniferales هى الرتبة المنتجة للأخشاب بكميات كبيرة وتعـرف بالمخروطيـات أو الصنوبريات وهى أشجار مستديمة الخضرة وأخشابها من نوع الأخشاب الناعمة (الطرية Soft wood (

وكذلك الأخشاب ذات الفلقتين مصدرا للخشب الصلب Hard wood وعلى هذا الأساس يتضح مما ذكر أن هناك مجموعتين من الأخشاب من الناحية التجارية وهما :

١ – الأخشاب الناعمة Soft wood وتنتج من أشجار معراة البذور

٢- الأخشاب الصلدة Hard wood وتنتج من الأشجار مغطاة البـــذور ذات الفلقتين

وحيث أن المجموعة النباتية للأخشاب الصلدة اكثر عددا من المجموعـــة الأخـــرى المنتجة للأخشاب الناعمة فإننا نجد اختلافات فى تركيب خشبها كثيرا عن الموجـــودة فى الأخشاب الناعمة وبالتالى نظرا لوجود هذه الاختلافات فإنه يسهل التمييز والتعرف على الأخشاب الصلدة بشكل أسهل من الأخشاب الناعمة .

الأخشاب الصلبة والأخشاب اللينة Hard wood and Soft wood

تكون كل أنواع الأخشاب الهامة ما عدا أنواع النخيل التى تكون أجنتها ذات فلقة واحدة أخشابا صلبة (أنواع مغطاة البذور Angiosperms ذات فلقتين) أو أخـــشابا لينة (أنواع عاريات البذور Gymnosperms عديدة الفلقات) وغالبـــا مـــا تكـــون الأخشاب الصلبة من الأشجار المتساقطة الأوراق ، بينما تكون الأخـــشاب اللينـــة مـــن الأشجار الدائمة الخضرة مثل المخروطيات ولكن بالطبع هناك العديد من الاستثناءات .

الصفات الظاهرية المستخدمة فى التعرف على الأخشاب اللينة :

١- خشب القلب وخشب العصارة Heart wood and sap wood

خشب العصارة هو خشب يحتوى على خلايا خشبية حية وهو خشب نشط مـــن الناحية الفسيولوجية ويقوم بوظيفة التوصيل ، لونه فاتح ويحتوى على نسبة عاليـــة مـــن الرطوبة أما خشب القلب فهو خشب ميت حيث حدث موت لبروتوبلازم الخلايا وحدث به ترسيب لمواد مختلفة تعرف باسم المستخلصات الخشبية وهى المسئولة عن لون ورائحـــة الخشب وعن مقاومة الخشب للتحلل ووجودها يقلل نفاذية الخشب ويزيد من متانته .

٢- لون ولمعان ورائحة الخشب Color, luster and odour in wood

لون الخشب يرجع إلى تكوين صبغات فى الخشب ويختلف لون خشب القلب عـــن لون خشب العصارة فى معظم أنواع الأخشاب وبصفة عامة لون خشب العصارة فـــاتح ، واللمعان فى الخشب عبارة عن مقدرة الخشب على عكس الضوء الساقط عليه ويرجع إلى زاوية سقوط الضوء على نوع سطح الخشب الموجه للضوء (سطح مماس - سطح قطرى) واحتواء الخشب على مواد زيتية وشموع يقللان من هذه الظاهرة والرائحة فى الخـــشب ترجع إلى وجود المستخلصات الخشبية وخاصة الزيوت الطيارة .

٣- الحلقات السنوية Growth rings

عند قطع شجرة عرضيا فإننا نلاحظ وجود حلقات متمركزة حول مركز الشجرة (النخاع) خاصة فى المناطق المعتدلة وهذه الحلقات تعرف باسم حلقات النمو أو الحلقات السنوية وتشتمل الحلقة على نوعين من الخشب الخشب المبكر (خشب الربيـــع) وهـــو الذى تكون فى بداية موسم النمو وتكون خلاياه متسعة وذات جدر خلوية رقيقـــة وذات أوعية وقصيبات متسعة ، وخشب متأخر (خشب الصيف) وهو يكون فى نهاية موســـم النمو ويمتاز بأن خلاياه ضيقة وسميكة الجدار وأوعية وقصيبات ضيقة وقد اعـــزى العـــالم Larson عام ١٩٦٨ م التباين فى حجم أوعية وقصيبات خشب الربيـــع والـــصيف إلى ظاهرتين مختلفتين فسيولوجيا وارجع اتساع الأوعية و القصيبات إلى كمية الهرمون النباتى (الأوكسجين) التى تصل إلى الخلية الخشبية أثناء تكشفها واعزى سمك الجدار الخلـــوى إلى كمية نواتج التمثيل الضوئى وعليه فإنه يتأثر بكل العوامل التى تؤثر فى عملية البنـــاء الضوئى .

٤ –الخشب الحديث والخشب الناضج Juvenile and mature wood

الخشب الذى تكون فى بداية حياة الشجرة وتكون من كامبيوم حـــديث الــــسن ويعرف العالم Rendle الخشب الحديث أو الشاب بأنه خشب ثانوى تكون خلال الفترة الأولى من حياة الشجرة وله مميزات تشريحية محددة فهو منخفض الكثافة و أليافه قـــصيرة ولهذا فإنه قيمته التكنولوجية منخفضة عن الخشب الناضج أما الخشب الخـــارجى فهـــو خشب تكون خلاياه كامبيوم ناضجة فهو بالتالى خشب ناضج.

الصفات التشريحية للأخشاب اللينة

ومن الناحية التشريحية فإن التفرقة بين الأخشاب اللينة والأخشاب الصلبة تتم بالفحص الميكروسكوبي لعناصر الخشب الثانوى والتى تنتظم خلاياها فى نظامين هما :

١- نظام محورى Axial system بحيث يكون على أساس ترتيب الخلايا رأسيا فى جذع الشجرة

٢- نظام إشعاعى Ray system يكون على أساس ترتيب الخلايا فى شريحة أو قطاع عرضى للجذع من المركز حتى الحدود الخارجية لساق الشجرة .

وتركيب الخلايا وترتيبها فى النسيج يعكس وظيفتها أثناء حياة الشجرة وتدعيمها الميكانيكى ووظيفتها كعناصر توصيل الماء أو للتخزين .

والخشب Xylem فى الأخشاب اللينة يعتبر بسيط من ناحية التركيب التشريحى إلى حد ما ، ومعظم أنواع الأخشاب اللينة لا تحتوى على اكثر من أربعة أو خمسة أنواع من الخلايا الخشبية .

أولا العناصر الطولية :

القصيبات : وهى عبارة عن خلايا اسكلارنشيمية ذات نهايات مغلقة تحتوى على نقر مصفوفة وتظهر فى القطاع العرضى مربعة أو سداسية الشكل وتمثل من ٩٠ – ٩٥ % من حجم النسيج الخشبى ويتراوح طولها ما بين ٣ – ٥ مم وتزيد فى بعض الأنواع ويتراوح القطر المماسى للخلية ما بين ٢٠ – ٧٠ نانو متر (20-70 Mm) وقطرها الإشعاعى يتوقف على وضعها فى الحلقة السنوية و القصيبات تمتاز باتساعها ورقة جدارها وذلك لتوصيل الماء والغذاء.

ثانيا البارنشيما فى الأخشاب اللينة :

هناك ثلاثة أنواع من البارنشيما فى الأخشاب اللينة :

أ) البارنشيما الطولية :

وتظهر كخلايا رقيقة الجدار وغالبا ما تحتوى على مواد مستخلصة وتظهر فى القطاع العرضى متفرقة أو مجتمعة فى شكل شريط أو توجد عند حواف الحلقات السنوية

ب) بارنشيما الأشعة :

وهى عبارة عن خلايا بارنشيمية رقيقة الجدار تحتوى على نقر بسيطة وعند تقاطع بارنشيما الأشعة مع القصيبات الطولية يتكون نوع من النقر تعرف باسم النقر النصف مصفوفة.

جـ) البارنشيما الطلائية والقنوات الراتنجية :

وهى عبارة عن خلايا بارنشيمية رقيقة الجدار تحيط بالقنوات الراتنجية الطولية و العرضية هذا و القناة الراتنجية عبارة عن فراغ بين خلوى محاط بخلايا إفرازية وهناك نوعان من القنوات الراتنجية :

١) قناة راتنجية طبيعية :

وهى موجودة فى الاتجاهين الطولى والعرضى فى الخشب و القنوات الراتنجية الطولية تظهر فى القطاع العرضى و القنوات الراتنجية العرضية فتظهر فى القطاع المماسى وتوجد داخل الأشعة المغزلية هذا ويصل حجم القنوات الراتنجية فى الأخشاب اللينة حوالى ١ % من حجم النسيج الخشبى (الصنوبر)

٢) قنوات راتنجية جرحية :

وهى تنشأ عن الجروح فى الأشجار وتوجد فى الأخشاب التى لا تحتوى على قنوات راتنجية طبيعية وهذه أيضا إما تكون طولية أو عرضية .

ثالثا المكونات العرضية :

أ) أنواع الخلايا العرضية فى الأخشاب اللينة وجميعها توجد فى الأشعة وهى :

١- بارنشيما الأشعة ٢- القصيبات الشعاعية ٣- الخلايا الإفرازية

ب) الأشعة فى الأخشاب اللينة .

الأشعة فى الأخشاب اللينة تتكون من خلايا مرتبة فى شكل قوالب الطـــوب تمتــد قطريا فى جذع الشجرة وهناك نوعين من الأشعة فى الأخشاب اللينة :

١. أشعة وحيدة الصف لا تحتوى على قنوات راتنجية .
٢. أشعة مغزلية تحتوى على قنوات راتنجية عرضية .

هذا وحجم نسيج الأشعة فى الأخشاب اللينة صغير ويتراوح من ٣ – ١٠ %

ثانياً الصفات الظاهرية والتركيب التشريحى للأخشاب الصلدة :

تختلف المكونات التشريحية للأخشاب الصلدة عن المكونات للأخشاب اللينة فى النقاط الآتية :

١. يختلف الخشب الصلد عن الخشب اللين بوجود الأوعية كمكون أساسى للأخشاب الصلدة (المسامية) وبالتالى فهى غير موجودة فى الأخشاب اللينة (غير المسامية)

٢. تتميز الأخشاب المخروطية (اللينة) بالترتيب القطرى للخلايا الطولية بينما فى الأخشاب الصلدة (فنظرا لاختلاف حجم الأوعية بين الخشب المبكر والخشب المتأخر وكذلك لاختلاف قطر الوعاء أثناء مراحل النمو) فتفقد العناصر الترتيب القطرى .

العناصر الطولية فى الخشب المسامى :

* العناصر الوعائية :

عبارة عن تراكيب أنبوبية ذات طول غير محدد مركبة من عدة خلايا يطلق عليها Vessel elements وفى المراحل المبكرة للنمو تحدث زيادة سريعة فى النمو القطرى بينما الزيادة فى الطول تكون طفيفة باستثناء بعض الأخشاب ذات المسام المنتشر وبعد الوصول للحجم الأقصى للوعاء يتكون الجدار الثانوى وما عليه من نتوءات (نقر) وتبدأ تتصل الخلايا ببعضها عن طريق نهايات الخلايا هذه النهايات الرقيقة تحدث لها إزالة بتفاعل إنزيمى قبل اختفاء البرتوبلاست تاركا فتحة أو ثقب يسمى Perforations عن طريقها يتم توصيل العصارة وحركة الماء داخل ساق الشجرة .

تقسيم الأخشاب الصلدة على أساس حجم الوعاء

١. خشب مسامى حلقى تكون فيه مسام الخشب المبكر كبير جدا من مسام الخشب المتأخر داخل نفس الحلقة النموية مثال ذلك جنس البلوط .

٢. خشب مسامى منتشر تكون فيه المسام متجانسة ومتوسطة فى الحجم وموزعة بانتظام داخل الحلقة النموية مثال ذلك الزان .

٣. خشب نصفى أو نصف منتشر وهو حالة وسط بين النوعين السابقين إلا انه وجد بعض الباحثين أن هذا التقسيم غير مطلق على كل الأنواع حيث وجد نوع من الخشب له نفس الجنس ونفس النوع ينمو فى منطقة فى الشمال حارة يحتوى على خشب مسامى حلقى ونفس الخشب فى الجنوب يعطى خشب مسامى منتشر والمسام إما أن تكون فردية أو فى مجموعات والفردية عادة تأخذ شكل بيضاوى مع اتجاه المحور القطرى .

التيلوزات Tyloses

هى عبارة عن نمو خارجى للبروتوبلازم من الخلايا البارنشيمية خلال فجوه النقرة فى الجدار الخلوى يمتد حتى فجوة الوعاء عند زيادة عددها لتصل إلى ملئ الوعاء كله وفى بعض الأنواع تكون التيلوزات سميكة والجدر ذات نقر محتوية على صموغ ومواد بلورية فى الفجوة ويعزى تكون التيلوزات إلى كونها خطوه فسيولوجية عادية تحدث فى بعض أنواع الصالدات و التيلوزات رواسب صمغية ترجع إلى نشاط الخلايا وأنها تنشأ فى الأجناس التى يزيد فتحة النقرة فيها عن ١٠ ميكرون أما فى حالة ضيق فتحة تكون النقرة عن ١٠ ميكرون فإن التيلوزات لا تتكون وعموما فإن التيلوزات تتكون عند تكون وتحول الخشب العصارى إلى خشب قلب .

٢- قصيبات الأخشاب الصلدة Hard wood trancheids

أ) القصيبات الوعائية Vascular trancheids

عبارة عن خلايا تتشابه فى الحجم والشكل لعناصر وعاء الخشب المتأخر ماعدا أنها ذات صفائح مثقبة وهى مرتبة فى الاتجاه العمودى مثل الأوعية الصغيرة ، يحتوى الجـــدار على نقر مصفوفة فى حالة تلاحمها مع بعضها وقد توجد تغليظات حلزونية على الجدار فى بعض الأنواع .

ب) Vasicetric tracheids

قصيبات قصيرة غير متجانسة الشكل ذات نهايات مغلقة توجد بكثرة بالقرب مـــن أوعية الخشب المبكر وخاصة فى الخشب المسامى الحلقى مثل البلوط وهى توجــد قريبـــة ومتجمعة مع الخلايا البارنشيمية المحورية ويوجد على الجدار نقر مصفوفة وتختلــف عـــن القصيبة الوعائية فى كون نهاياتها مستدقة وغير منتظمة طوليا كما فى القصيبة الوعائية .

٣- الألياف Fibers

منها نوعان وكلاهما له جدار غليظ والاختلاف بينهما يكون على أســـاس طبيعـــة النقر الموجودة .

١- القصيبات الليفية Fiber tracheids يوجد عليها نقر مصفوفة واضحة .

٢- الليفة الشفوية Libriform fiber يوجد عليها نقر بسيطة أو نصف مصفوفة وتكون ضيقة عند الظهور .

٤- البارنشيما الطولية Longitudinal parenchyma

أ) البارنشيما المقسمة Strand parenchyma

ويتم تكوينها خلال انقسام الخلايا الفيوزيفورمية الأولية وتوزيع البارنشيما الأولية داخل النسيج الخشبي يلعب دورا هاما فى التعرف على أنواع كثيرة من الأخشاب الصلدة لذا تقسم أشكاله حسب الخلايا البارنشيمة :

١. بارنشيما غير مصاحبة للوعاء
٢. بارنشيما مصاحبة للوعاء
٣. بارنشيما محددة خافية للحلقات السنوية

ب) البارنشيما الفيوزيفورمية Fusiform parenchyma

خلية بارنشيمة طولية اصل انقسامها من خلية الكميوم الفيوزيفورمية ولكنها ظلت على حالها بدون تقسيم .

جـ) الخلايا البارنشيمة الطلائية Epithedial parenchyma

هذا النوع يتكون من خلايا بارنشيمة تحيط بالفجوات الطولية مع العلم بأن القنوات الصمغية الطولية لا تتواجد كتركيب طبيعى فى الأخشاب الصلدة بل هى تظهر بصورة غير دائمة نتيجة الجروح .

العناصر العرضية فى الخشب المسامى:

هى أساس الأشعة والخلايا الطلائية إن وجدت لذلك فالحديث يكون الآن عن الأشعة Rays وهى عبارة عن خلايا بارنشيمة تتكون فيما بينها من نوعين لهم نفس الصفات مع الاختلاف فى الوضع والشكل وهى :

١- طولية Upright
٢- مستعرضة Procumbent

وعندما تحتوى الأشعة على نوع واحد من الخلايا تشترك مع بعض فى الشكل والحجم يطلق عليها أشعة متجانسة Homocellular or homogeneous وإذا

كانت غير ذلك تسمى غير متجانسة Heterocellular or heterogeneous حيـــث يظهر صف علوى أو أسفل أو كلاهما من خلايا بارنشيمة تقترب من أن تكون طوليـــة أو عمودية وليست أفقية ويكون شكلها غير منتظم قطريا وهذه تـــسمى Upright بينمـــا الأشعة المنتظمة قطريا وتشابه فى الشكل والحجم يطلق عليها Procumbent .

التركيب التشريحى للخشب :

من المعروف أن الخلية النباتية هى الوحدة التشريحية فى النبات وهى تتركب من جزئين رئيسيين هى البروتوبلاست Protoplast التى تشتمل على النواة والسيتوبلازم وهما يكونا البروتوبلازم أما الجدار الخلوى فهو غلاف من مادة غير حية اكثر تماسكا وصلابة من البروتوبلازم يتركب من السليولوز Cellulose ووظيفته هو تغليف البروتوبلازم وحمايته .

ويختلف الجدار الخلوى فى السمك على حسب نوع وعمر الخلية حيث يقل فى السمك للخلايا الكاملة النمو بالإضافة إلى ذلك فإن جدر الخلايا الكاملة النمو ذات السمك الكبير تتميز بتكونها من عدة طبقات وتختلف كل طبقة عن الأخرى فى الطبيعة الفيزيائية والكيميائية حيث يتكون الجدار الخلوى من ثلاثة طبقات هى :

١- الصفيحة الوسطى Middle lamella وهى المادة البين خلوية Intercellular substance التى تربط الجدر الأولية للخلايا المتجاورة وهى مادة غير متبلورة Amorphous وغروية Colloidal ملجننه وقد يصعب التفرقة بين الصفيحة الوسطى والجدار الأولى عند زيادة نمو الخلية وفى بعض الخلايا مثل خلايا القصيبات Tracheids والألياف Fibers تصبح الصفيحة الوسطى شديدة القوة والتماسك لذلك تصبح الجدر الخلوية والصفيحة الوسطى لخليتين متجاورتين وحدة واحدة .

٢- الجدار الأولى Primary wall

إن الغشاء الذى يتكون على سطح الصفيحة الخلوية هو المرحلة الأولى للجدار الخلوى ويعرف بالجدار الأولى وهى يتكون فى الخلايا النامية وقد يكون الجدار الوحيد لهذه الخلية .

٣- الجدار الثانوى Secondary wall

يستمر تغليظ الجدار فى كثير من أنواع الخلايا بعد أن تـصل الخليـة إلى شـكلها وحجمها النهائى ويعرف هذا الجدار بالجدار الثانوى والجدر الخلوية التى تحتـوى علـى الجدار الثانوى خالية من البروتوبلاست وأكثر سمكا من الجدار الأولى مكونا الجزء الأكبر من الجدار الخلوى وهو يتكون عادة من ثلاث طبقات S_1 ملاصقة للجدار الأولى الـذى يصل سمكه إلى ٠,١ ميكرون وهى يصل سمكها إلى ٠,٢٤ ميكرونا فى الخشب الصلد و ٠,٣١ ميكرونا فى المخروطيات أما الطبقة الثانية الوسطى S_2 فهى يصل سمكها من ٣ - ٥ ميكرون والطبقة الثالثة الداخلية S_3 فهى رقيقة جدا .

العناصر النباتية (التشريحية) المكونة للخشب .

يتكون النسيج الخشبى من العناصر الآتية :

١) الأوعية (القصيبات) Vessels

٢) القصيبات Tracheids

٣) بارنشيمة الخشب Xylem parenchyma

٤) ألياف الخشب Wood fibers

أولاً : الأوعية Vessels

وهى ذات جدر سمكية ملجننة تظهر فى القطاع العرضى مستدير ومـضلعة وهـى مستطيلة فى القطاع الطولى فى اتجاه التوصيل وهى تختلف فى الطول والقطـر بـاختلاف النباتات ومتوسط طولها حوالى ١٠ سم وقد تصل إلى متر أو اكثر وقد تصل إلى متـرين كما فى شجرة البلوط ويختلف قطره باختلاف النباتات (٠,٣ - ٠،٧ مم) وهى تمثـل

قنوات التوصيل الأساسية فى النباتات وتختلف أشكالها ما بين الشكل الحلزونى وسلمى ومنقر وشبكى .

ثانياً : القصيبات Tracheids

وهى عناصر ميته كالأوعية أى لا تحتوى على البروتوبلاست وتغليظها لجنينى وهى مستطيلة اتجاه التوصيل ذات أطراف مدببة نوعا ما ولذا فإنها تتشابه مع الألياف ولكن اقل تغليظا وتكون ذات فجوة وسطية أوسع كما أن أطرافها أقل تدبيا من الألياف وأقصر منها فى الطول وأعرض والقصيبة مهيأة من الوجهة التركيبية بالنسبة لكل من التجويف والجدار للقيام بوظيفة التوصيل وتساهم الجدر الغليظة المتينة للقصيبات فى التدعيم أيضا ويكون تغليظ جدران القصيبات على أشكال متعددة فالقصيبات المتكونة فى الأجزاء النامية تكون ذات تغليظ حلقى أو حلزونى أما التى تنشأ بعد ذلك فتكون ذات تغليظ شبكى بينما توجد القصيبات ذات التغليظ المنقر فى الأعضاء البالغة وهناك قليل من القصيبات ذات التغليظ السلمى ويتراوح طول القصيبة بين ٢ – ٤ مم وقطرها بين ٠,١٥ – ٠,١ مم كما يتراوح سمك الجدار بين (١٠ % – ٥٠ %) .

ثالثاً : بارنشيمة الخشب Xylem parenchyma

وهى خلايا برنشيمية مستطيلة غالبا حية وقد تفقد محتوياتها الحية فى الأجزاء المسنه وتتحول إلى عناصر ميته تكون ذات جدر رقيقة غير مغلظة وقد تكون مغلظة الجدر وفى هذه الحالة توجد بها نقر مصفوفة أو نصف مصفوفة وقد تساهم برنشيمة الخشب فى التوصيل ولكنها تختص غالبا بتخزين المواد كالنشا والمواد الدهنية والتانين والبلورات .

والخلايا البارنشيمية فى الخشب على النقيض من القصيبات والأوعية ومعظم أنواع الألياف تبقى حية ما بقى النسيج الذى يحتوى عليها قائما بوظيفة التوصيل ويختلف توزيع

الخلايا البارنشيمية داخل أنسجة الخشب فى النباتات المختلفة فأحيانا تكون متناثرة بين العناصر الخشبية الأخرى ، وأحيانا تتجمع حول الأوعية وتكون الخلايا البارنشيمية صغيرة الحجم حيث تتراوح أطوالها بين ٠,١ – ٠,٣٢ مم وتتراوح أقطارها بين ٠,٠١ – ٠,٠٥ مم وعلى أساس الوزن فإن البارنشيمة تمثل ٣ % فقط من وزن أخشاب الصنوبر .

رابعا : ألياف الخشب Xylem fibers

تشبه الألياف العادية حيث الخلايا الميتة مستطيلة مدببة الطرفين ذات تغليظ جنينى ووظيفتها الأساسية التدعيم أما وظيفتها للتوصيل فهى محدودة وتكثر فى الخشب عندما تكون الأوعية عناصر التوصيل الرئيسية أما إذا غلبت القصيبات فى الخشب تندر الألياف وتختلف أطوال الألياف تبعا للأنواع المختلفة من الأخشاب إذا تتراوح بين ١ – ٢ مم أما أقطارها فتتراوح بين ٠,١ – ٠,٠٥ مم تقريبا .

التركيب الكيميائى للخشب

يتكون النسيج الخشبى من مواد بوليمرية وهذه المواد تخلط بطريقة معقدة مكونة جدران الخلايا وهى التى تعكس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخشب وهناك العديد من المواد العضوية وغير العضوية وتشكل ذرات كل من الكربون والهيدروجين والأكسجين المركبات العضوية الأساسية للخشب وهى السيلولوز و الهيميسليولوز واللجنين حيث يتراوح نسبتها على التوالى (٤٠ – ٥٠ % ، ٢٠ – ٣٥ % ، ١٥ – ٣٥ %) بالإضافة إلى بعض المكونات الثانوية مثل التانينات Tannins والزيوت الطيارة والراتنجات Volatile oils and resins والصموغ Gums واللاتكس Latex وبعض المركبات العضوية الأخرى مثل Dyes, alkaloids والمواد الملونة بالإضافة إلى الرماد الذى يكون غالبا أقل من ١ % .

١- السيلولوز Cellulose

وهو أكثر المواد العضوية تواجدا فى المملكة النباتية فهو المكون الرئيسى لجدار الخلايا النباتية الراقية وهو مركب كربوهيدراتى هيدرفيلى متبلور تركيبه الكيميائى $(C_6H_{10}O_5)_n$ تتراوح درجة بلمرته فى الخشب ما بين (٨٠٠٠ – ١٠٠٠٠) (وهو مادة عديدة التكسر) . ويتواجد السيلولوز فى صورة لويفات Microfibril وظيفتها تدعيم الجدار الخلوى وهو عبارة عن بوليمر خطى مكون من وحدات D. anhydroglucopyranose مرتبطة ببعضها بواسطة B1-0-4 glycosidic bonds وعن طريق الكبارى الأكسيجينية Oxygen bridges ويتراوح عدد وحدات الجلوكوز فى الجزء السيلولوزى للخشب من (٨٠٠٠ – ١٠٠٠٠) .

وقد وجد بالكشف بالأشعة السينية X-ray diffraction analysis أن هنـــاك نظامين لترتيب جزيئات الـــسيلولوز أحـــدهما منـــتظم ويعـــرف بالتركيـــب البلـــورى Crystalline forms وغير المنـــتظم والعـــشوائى ويعـــرف بالتركيـــب اللابلـــورى Amorphus forms .

ويتركز التركيب البلورى فى مركز اللويفة وسلاسل السيلولوز تتراص بأشـــكال متوازية لتكون اللويفات والممكن ملاحظتها بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى Transmission electron microscope (T.E.M)

وتكون هذه اللويفات مناطق متبلورة حيث تتراوح درجة التبلور فى الخـــشب إلى ٧ %

٢- الهيميسليلوز Hemicellulose

أطلقت هذه الكلمة قديما على الكربوهيدرات القابلة للـــذوبان فى القلويـــات و الهيميسيلولوز مادة عديدة التسكر غير سليولوزية أصبحت تعرف منـــذ ســـنوات بــــ polyoses وهو عبـــارة عـــن بـــوليمر متجـــانس وغـــير متجـــانس Hetero-and homopolymers قصير نسبيا ومتفرع ويتكون أساسا من الجلوكوز وسكريات سداسية وخماسية وهو قصير له درجـــة تبلمـــر لا تتجـــاوز ٢٠٠ و الكربوهيـــدرات المكونـــة للهيميسيلولوز فى الخشب الصلب تختلف عن المكونة للخشب اللين كما تختلـــف كميـــة الهيميسيليولوز كلا النوعين فالأخشاب اللينة تحتوى على كمية أقل من الهيميســـيليولوز بالمقارنة بالأخشاب الصلبة ويعتبر ســـكر Mannose أهـــم مكونـــات هيميـــسليولوز المخروطيات أما سكر Xylose فهو من المكونات الأساسية لهيميسيليولوز الأخـــشاب الصلبة التى تحتوى بالإضافة إلى ذلك على كمية مـــن مجموعـــات الاســـتيل Acetyl groups ويلعب الهيميسيليولوز دورا هاما فى ربط ألياف السيليولوز بعـــضها بـــبعض (

بجانب اللجنين) ويذوب فى الماء المغلى و المحاليل القلوية المخففة كما أنه يساعد على الحد من درجة تبلور السيليولوز وقصر سلاسل هذا البوليمر تساعد على سرعة ذوبانه .

ويختلف مستوى mannon level فى الأخشاب الصلبة واللينة ففى الأخشاب اللينة تزيد نسبة Glucomannan وهو يتكون من الجلوكوز والمانوز مرتبطين برابطة جلوكوزبدية B-1-4 glucosidic bonds وتكون نسبة الجلوكوز إلى المانوز ١- ٠,٧٥ أو ٢ - ١ حيث تصل نسبته ١- ١٥ % وفى الأخشاب اللينة يوجد المانوز بصورة كبير فى الهيميسيليولوز للجدر الثانوية ولذا فإنه تزيد نسبة Xylan فى الخشب الصلب للهيميسيليولوز ونسبة Glucomannan فى الأخشاب اللينة.

ويكون الهيميسيليولوز حوالى ٢٠ - ٣٠ % من كتلة النسيج الخشبى وهو يختلف عن السيلولوز فى سلاسلة القصيرة والمتضرعة وهو اكثر ذوبانية وتميؤا .

٣- اللجنين Lignin

يعتبر اللجنين المكون الرئيسى للجدار الخلوى للخشب وهو مركب معقد ثلاثى الأبعاد مكون من وحدات Phenyl propane وهى لا بلورية تماما وهو يحيط بالليفات وبالرغم من خواصه الطاردة للماء البسيطة إلا أنه يؤثر فى خاصية الإنكماش للخشب واللجنين هو المادة المدعمة (المقوية والرابطة) فى الخشب حيث يكون حوالى ٢٠ - ٣٠ % (فى بعض أنواع الخشب ٤٠ %) من مكونات الجدار الخلوى وتبدأ عملية ترسب اللجنين فى أركان الخلية قبل الجدار الثانوى وتستمر مع تلجين الصفيحة الوسطى والجدار الأولى ثم تراكمه فى S_1, S_2, S_3 ويصنع اللجنين فى الخلية وينتقل إلى غشاء البلازما ثم يترسب فى الغشاء ثم الجدار الخلوى، وعملية الانتقال هذه غير مفهومة

على الرغم من تعقد تكوين جزيئات اللجنين إلا أنه أمكن التعرف على ثلاثة أنواع من وحدات Phenyl propane التى تدخل فى تكوين اللجنين وهى P-coumaryl alcohol, Coniferyl alcohol and Sinapyl alcohol وتنتمى هذه الكحولات الثلاثة أساسا إلى P-hydroxy cinnamyl alcohols والفرق الأساسى بين هذه المونيمرات يكون فى التركيب الكيميائى من حيث وجود مجموعات الميثوكسيل (-OCH_3) فى الموقعين ٣،٥ فى الحلقات الاروماتية

وبتكرار عمليات Dehydrognation لهذا الكحولات يتبلمر اللجنين ليكون مركبا جزيئيا غير منتظم فى تركيبه البنائى وعملية البلمره لراديكالات Phenoxy عشوائية وتكون جزئيات اللجنين الكبيرة المتكونة مؤكدة بتكوين المركبات الأخرى فى الجدار الخلوى مثل السيليولوز والهميسيليولوز وعملية ترسب اللجنين تعطى قوة للجدار الخلوى وتكون حاجز أمام مهاجمة وهضم الكربوهيدرات بواسطة الكائنات الحية الرقيقة

وعملية الربط بين اللجنين والسكريات العديدة Polysaccharides معقدة ولكن تفاصيلها غير مفهومة وتعتبر عملية الربط بين اللجنين ومركبات الهميسيليولوز اكثر من الربط بين اللجنين والسيليولوز ويمكن فصل مركبات اللجنين– الزيلين Lignin-xylan complexes من الأخشاب الصلبة ومركب Lignin-mannan and lignin xylan complexes من الأخشاب اللينة حيث ترتبط بروابط تساهمية .

ويقسم اللجنين على حسب نوعية الأخشاب فعلى سبيل المثال يوجد Cuaiacyl lignin فى الأخشاب اللينة Soft wood وذلك لبلمرة Polymerization of coniferyl alcohol .

وعلى العكس نجد أن الأخشاب اللينة تتميز بنوعية Guaiacyl-syringyl lignin والناتج من البلمرة المشتركة للكحولات Coniferyl and sinapyl alcohols وزيادة نسبة تركيب وحدات Syringyl structural units يزيد من نضج

الخشب وتركيب اللجنين له تأثير هام على الروابط المتقاطعة داخل البوليمرات حيث أن تفاعلات الراديكات الحرة التى تؤدى إلى تكوين بوليمر اللجنين تؤدى إلى روابط متقاطعة Cross linking على حلقة البنزين ولذلك فإن بوليمرات اللجنين المحتوية على Guaiacyl and p-hydroxyl structural units غنية بالروابط المتقاطعة اكثر من بوليمرات Syringyl monomers ولهذا السبب فإن بوليمرات اللجنين فى الأخشاب الصلبة لها تركيب يتلف بسهولة اكثر من اللجنين فى الأخشاب اللينة .

٤- المواد البكتينية Pectins

وهذه المواد نسبتها قليلة (أقل من ١ %) وهى مواد عديدة التسكر وهى توجد فى الجدار الخلوى والصفيحة الوسطى خلال المراحل الأولى من النمو وهى مشتقات من حمض Polygalacturonic وتوجد فى ثلاث صور هى Protoectin, pectin, pectic acid .

والمركبات البكتينية مواد غروية ، غير متبلورة ، مرنه وهيدروفيلية وهى تدخل فى تركيب المادة البين خلوية التى تربط الجدر الخلوية الفردية ، وتوجد المواد البكتينية مرتبطة بالسيليولوز فى الطبقات المكونة للجدر الخلوية خاصة الجدار الأولى .

وقد توجد منتشرة مع Deoxy sugar, rhamnose وتوجد مجموعات الكربوكسيل لحمض Gulacturonic acid كاستارات الميثل أو أملاح الكالسيوم as methyl esters or calcium salts كما أن المواد البكتينية تحتوى على (١٥ – ٢٥ %) من galactose, arabinose xylose and fucose حيث توجد كسلاسل جانبية لحمض Uronic acid وتتميز المواد البكتينية بذوبانيتها العالية فى الماء المتعادل .

٥- المستخلصات Extractives

وهى تشتمل على المركبات ذات التركيب الجزيئى المخفض والتى يمكن استخدمها فى الخشب بواسطة المذيبات مثل الماء والكحول والبترين والأثير وهذه المركبات توجد فى الخلايا البرنشيمية وتجاويف الخلايا الأخرى فى كمية تتراوح مـــن ١- ٥ % مـــن وزن الخشب وهى تشتمل على مواد عديدة كالكربوهيدرات مثل النشا والجلوكوز والفركتوز والسكروز والمواد الفينولية Phenolic compounds مثل Stilbenes, tannis and lignans والزيوت Oils والشموع و استيرات الأحمـــاض العـــضوية Esters of organic acids and alkaloids وهذه المستخلصات هى المسئولة عن بعض خـــواص الخشب مثل اللون والرائحة بالإضافة إلى مقاومته لمهاجمة الفطريات والحـــشرات وذلـــك لاحتوائها على مواد عضوية سامة. كما أن لها دورا هاما فى الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخشب مثل النفاذية والكثافة والثقل النوعى والصلابة ومقاومة الضغط .

بالإضافة إلى ذلك يوجد كيوتين وسوبرين Cutin and suberin وهـــى مـــواد دهنية غير قابلة للانصهار ولا تذوب بسهولة فى مذيبات الدهون وتحتوى علـــى أحمـــاض دهنية وتزيد فيها درجة البلمرة .

٦- محتوى الرماد Ash content

تكون نسبة محتوى الرماد فى الخشب من ٠,١ – ٠,٥ % من وزن الخشب وهو غالبا ما يحتوى على المواد المعدنية التى قد توجد فى الجدر الخلوية مثل السليكا، كربونات الكالسيوم و اكسالات الكالسيوم والقلويات الأرضية مثل البوتاسيوم والماغنسيوم يصل كميتها إلى ٧٠ % وقد توجد السليكا بكمية تصل إلى اكثـــر مـــن ٢ % مـــن وزن الخشب الجاف .

الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخشب

Physical and mechanical properties of archaeological wood

تعتبر الخواص الفيزيائية والميكانيكية من الخواص الهامة للتعرف على مدى التغيرات التى طرأت على الخشب نتيجة لعمليات التقادم الطبيعى كما أنها مؤشر على مدى متانة الخشب ومقاومته للتغيرات البيئية المحيطة .

أولا : الخواص الفيزيائية :

١- الكثافة Density

الخشب أخف وزنا من الماء ويختلف الوزن النوعى له من ٠,٣ – ٠,٩ جم / سم ٣ .

تتأثر كثافة الخشب نتيجة للتغيرات البيئية المحيطة به ولذا تختلف كثافة الخشب الحديث عن الخشب الأثرى وذلك لعمليات التقادم الطبيعى له وعوامل التلف المختلفة المحيطة به لذا تنخفض كثافته لانخفاض متانته وتحطم خلاياه ويتم تعيين كثافة الخشب عن طريق تعيين وزن وحجم عينة من الخشب وقياس مساميتها .

وتختلف الأخشاب فى وزنها وكثافتها فهناك خشب ثقيل و آخر خفيف والكثافة النوعية (الثقل النوعى) وتعتمد كثافة الأخشاب على حسب نوع الخشب وعمر الشجرة وعلى نسبة ما تحتوية من مواد راتنجية وماء وكذلك على نسبة الألياف فيها وبالتالى مقاومة الخشب للأحمال ، وممكن باستعمال طريقة معملية بسيطة تتلخص فى وزن قطعة من الخشب مبدئيا ثم تجفيفها فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥° م ثم إعادة وزن الخشب الجاف ثم تطبيق المعادلة التالية :

النسبة المئوية لرطوبة الخشب (المحتوى المائى الداخلى) =

$$\frac{\text{وزن الخشب قبل التجفيف} - \text{وزن الخشب بعد التجفيف}}{\text{وزن الخشب الجاف}} \times ١٠٠$$

وبمقارنة الخشب المغمور فى الماء مع الخشب الحديث نجد ازدياد كثافته لازدياد محتواه الرطوبى إلى أقصى نسبة نتيجة إحلال الماء محل الهواء الموجود فى الخشب كما أن انخفاض كثافة الخلايا قد يعزو إلى عملية الترح للكربوهيدرات من اللجنين وبالتالى يتزايد جودة الخشب ومقاومته للأحمال بزيادة كثافته.

٢- درجة الامتصاص Water absorption

يعتبر الخشب كغيره من المواد العضوية يتأثر تأثرا كبيرا بتغير الرطوبة النسبية المحيطة حيث إنه يفقد الماء ويكتسبه بسهولة تبعا لنقص أو زيادة الرطوبة فى الجو المحيط نظرا للخاصية الهيجروسكوبية للأخشاب ، وتختلف الخاصية الهيجروسكوبية لمكونات الخشب حيث يعتبر الهميسيليولوز اكثر هيجروسكوبية بينما يعتبر اللجنين الأقل ويقع السيلولوز فى وضع وسط ، ففى حالة تلف الخشب المغمور فى الماء يهاجم الهميسيليولوز بينما يكون اللجنين أكثر ثباتا وعلى ذلك فالمحتوى العالى للأخشاب من اللجنين يجعلها أقل هيجروسكوبية وقد تزيد قيم المحتوى الرطوبى (EMC) اكثر من الخشب الحديث ويزيد مع زيادة الرطوبة المحيطة عن ١٠٠ % وهذا يفسر انكماش الخشب المغمور فى الماء ، والزمن وحده لا يعطى تأثير ملحوظ على تغيرات فى خاصية الهيجروسكوبية .

ويحدث عملية انكماش فى الخشب المغمور فى الماء اكثر من الخشب الحديث وذلك لتشبعه بالماء فى الفجوات وتحطم خلاياه وذلك لاختلاف التركيب و التكوين للجدر الخلوية يعطى انكماش غير متساوى والتفاف والتواء الخشب وقد يعزو ذلك إلى تلف الكربوهيدرات وانخفاض التبلور فى السيلولوز المتبقى وانخفاض عملية التبلور لا تؤدى إلى زيادة الهيجروسكوبية فحسب ولكن أيضا يسمح بالانكماش بالتوازى مع اللويفات السليولوزية كما أن انخفاض متانة جدران الخلايا يجعلها أقل مقاومة لضغوط الجفاف ويكون من الرقة بحيث لا يقاوم الشد السطحى لعمود الماء الحر فى تجاويف الخلية وبالتالى ينهار .

والانكماش فى الخشب الحديث لا يتجاوز ٠,٦٪ إلا انه قد يصل إلى ١٠ ٪ فى حالة الخشب القديم ويزيد معدل الانكماش مع نقصان الكثافة ولذا يجب أن لا تزيد كمية الرطوبة فى الخشب المستخدم للأعمال الإنشائية عن ٢٠ ٪ .

٣- **المسامية Porosity**

تعرف المسامية بأنها نسبة حجم الفراغات إلى الحجم الكلى للعينة وهى تعتمد على الفراغات الموجودة فى الخشب نتيجة وجود الأوعية والقصيبات والخلايا بالإضافة إلى الشروخ والفواصل وتزيد مسامية الخشب مع زيادة التأثير البيئى المحيط وعمليات الترح التى تحدث للمستخلصات الموجودة فى الخشب ويمكن تعيينها عن طريق المعادلة الآتية :

$$n = \frac{V_v}{V}$$

حيث أن n = قيمة المسامية

V_v = قيمة حجم الفراغات

V = قيمة الحجم الكلى للعينة

٤- **لون الخشب Wood colour**

تختلف ألوان الخشب اختلافا كبير وهى من العناصر الهامة المميزة للأخشاب وتمثل قيمة عالية لبعض الأخشاب وهناك تراكيب لونيه يصعب وصفها ولكن يمكن تمييزها بالمران والخبرة والمقارنة ولون الخشب قابل للتغير نتيجة الظروف البيئية المحيطة كما أنه يختلف بين الخشب العصارى والخشب الصميمى فيكون الخشب العصارى دائما فاتح اللون أو أبيض بينما الخشب الصميمى غامق اللون (بنى أو بنى محمر) أو أسود .

٥- رائحة الخشب وطعمه Odour and taste

تتميز بعض الأخشاب بأن لها رائحة خاصة وتختلف رائحة الأخشاب مـن رائحـة التوابل أو رائحة خشب السدر إلى الروائح غير المقبولة وهناك أخـشاب اسـتوائية ذات روائح مميزة لكل نوع ورائحة الخشب تكون نتيجة لوجود المستخلصات الطيارة وهو ما قد يميز الخشب الصميمى وتقل رائحة الخشب تدريجيا بازدياد تعرضه للظـروف الجويـة نتيجة لتطاير المواد الموجودة فيه ويفيد المذاق والرائحة وكلاهما راجعـا للمستخلـصات الموجودة فى الخشب .

ثانياً : الخواص الميكانيكية Mechanical properties

تتأثر الخواص الميكانيكية للخشب نتيجة لعوامل التلف المختلفة المحيطة به من مهاجمة البكتريا والفطريات والحشرات مما يؤدى إلى انخفاض فى الخـواص الميكانيكيـة نتيجـة لعمليات التحطم الداخلية للخلايا بالإضافة إلى الأنفاق والثقوب الحشرية والتى تقلل من متانة الخشب وتختلف الخواص الميكانيكية للأخشاب تبعا لنوعها ولكثافتـها والمحتـوى الرطوبى ومعدل الحمل و عمر الخشب .

وتعتبر دراسة خواص الخشب الميكانيكية هامة حيث يمكن بوجه عام التعـبير عـن مقاومته للقوى المؤثرة عليه وتشتمل هذه الخـواص علـى خاصـية مقاومـة الـضغط Compressive strengthومقاومة الشد Tensile strength ومقاومـة الإنحنـاء Bending strength ومقاومة القص Sheer وسوف يتم تناولها كالآتى :

(١) خاصية مقاومة الضغط Compressive strength

وتعرف بأنها الإجهاد اللازم لتكسير عينة من الخشب تحت تأثير ضغط حمل معـين وليست محددة من جوانبها وتقدر هذه الخاصية بوحدات الإجهاد وهى خـارج قـسمة الحمل الكلى على مساحة مقطع العينة أى :

$$\text{المقاومة الضغطية للخشب} = \frac{\text{قوة الضغط كجم}}{\text{مساحة مقطع عينة الخشب سم}^2} = \text{كجم / سم}^2$$

وتتوقف درجة تحمل الأخشاب للجهود الواقعة عليها على كثافة الخشب بالإضافة إلى نسبة المستخلصات فيه ومن المعروف أن صفات المتانة فى الأخشاب تتناسب عكسيا مع نسبة الرطوبة بها كما أن الحرارة العالية تقلل من متانة الخشب .

ومقاومة الخشب للضغط فى اتجاه الألياف حوالى ربع مقاومته للشد فى اتجاه الألياف كما أن مقاومة الخشب للضغط عموديا على اتجاه الألياف صغيرة بالنسبة للضغط فى اتجاه الألياف والنسبة بينهما حوالى $\frac{1}{3}$: $\frac{1}{10}$ لذلك فإن استخدام الخشب فى المنشآت يجعله يتحمل اجهادات فى اتجاه الألياف مثل الضغط والإنحناء ، وتعتبر مقاومة الخشب للضغط فى اتجاه الألياف هى المقياس الرئيسى لبيان تحمل الخشب وجودته ويبين الجدول التالى مقاومة بعض الأخشاب للتحميل فى الضغط والإنحناء والقص حيث الاجهادات الناتجة فى اتجاه الألياف .

جدول (١) بعض الخواص الميكانيكية لبعض أنواع الأخشاب:

نوع الخشب	الاجهادات فى اتجاه الألياف كجم / سم٢				معايير المرونة طن /سم٢
	الوزن النوعى	الضغط	الإنحناء	القص	
الخشب الأبيض	٠,٤	٤٠	٧٥	٨	١١
الموسكى	٠,٤	٣٧	٦٥	٨,٥	٩
البلوط	٠،٥٥	٤٥	٩٠	١٣	٩,٥
الأرز	٠,٣٣	٣٥	٥٥	٦	٨
القرو	٠,٦٧	٥٠	١٠٠	١٤	١٢

ويجب مراعاة عند القيام بعملية تعيين لخاصية مقاومة الضغط لعينة الخشب مراعـــاة اولا مقاس العينة ودرجة رطوبتها ووجود الشروخ والعقد بها وعمر العينة ومعدل التحمل واتجاهه بالإضافة إلى نوعية الخشب وكثافته وذلك لتأثير هذه العوامل على مقاومة الضغط حيث تزيد قيم مقاومة الضغط من نقطة التشبع للألياف بالرطوبة إلى تجفيفها بالفرن كما أثبت (Dinwoodie 1981) أنه فى حالة وجود العقد فإن تأثير الرطوبة يتنـــاقص مـــع زيادة مقاس العقد كما أنها تعمل على انخفاض متانة الخشب وذلك لحجمها وتوزيعهـــا فى الخشب كما أن قيم الضغط تعتمد أيضا على درجة الحرارة فقبل الوصـــول إلى درجـــة حرارة ٩٥° م تحدث تغيرات مسترجعة فى الخشب أما بعدد درجة حرارة ٩٥° م فتكون التغيرات غير مسترجعة .

كما أن مهاجمة الفطريات تعمل على انخفاض وزن العينة وكذلك فقـــدان متانتـــها فعند مهاجمة فطر العفن اللين Chaetomium globosum لخشب القان Birch يحدث فقد فى الوزن حوالى ٦ % مع فقد فى المتانة حوالى ٥٩ % .

كما أن Chapman and Scheffer 1940 أشار إلى تأثير Basidiomycatina (العفن الأبيض والبنى) الخطير لها على متانة الخشب حيث أن تأثيرها علـــى خـــشب الصنوبر العصيرى Pine sapwood يخفض من متانته من ١٥ - ٣٠ % كما أشـــار Pittifor 1939 إلى أن تـــصنيع خـــشب Obeche sapwood بواســـطة فطـــر Botryodiplodina theobromae يخفض متانته بمعدل يـــصل إلى ٤٣ % ويعتـــبر العفن البنى أشد خطورة على متانة الخشب من العفن اللين وتعزو عملية فقـــد المتانـــة إلى تغلغل الهيفا الفطرية داخل الجدار الخلوى ونحرها له .

وفى حالة الجو الجاف فإن عينة من خشب الصنوبر Pinus pinea من هرم تـــيق ترجع إلى عام ٢٣٥٠ ق.م مع مقارنتها لعينة حديثة من نفس نوع الخشب قد أعطيـــت نفس الصلابة عندما تكون موازية للألياف.

(٢) مقاومة الشد Tensile strength

وتعرف أيضا بأنها الإجهاد اللازم لتكسير عينة من الخشب تحت تأثير شد حمل معين وتقدر هذه الخاصية بوحدات الإجهاد أيضا وقوى الشد تحدث جهود شد ويقاوم الخشب إجهادات الشد فى اتجاه الألياف بدرجة كبيرة حيث تتراوح تلك المقاومة ٧٠٠ كجم / سم^{٢} إلى ٢٠٠٠ كجم / سم^{٢} ومقاومة الخشب للانحناءات تتوقف على مدى مقاومته للضغط والشد والقص ويلزم أن يكون للخشب صلابة كافية تمكن من استخدامه فى المنشآت دون تغير كبير فى الشكل ويعبر معاير الكسر عن مقاومة الخشب للانحناء Bending وعملية انتفاخ الخلايا Swelling of cells فى الخشب ممكن أن تسبب فقد فى متانته فتأثير المواد الحافظة العالية التركيز (5% coper chromium aresenic) ممكن أن تؤدى إلى فقد ١٠ % من مقاومة الخشب للانحناء Bending strength .

كما أشر Chapman and Scheffer 1940 إلى فقد خشب Pine sapwood لمقاومته للانحناء عند تعرضه لفطريات التصبغ Staining fung من ١ – ٥ %.

وتأثير الفطريات على تلف الأخشاب وانخفاض مقاومتها للانحناء قد ثبت أيضا من خلال الأبحاث التى قام بها (Henningsson 1967) وذلك باستخدام خشب القان Birch وتعريضه لفطريات العفن البنى Fomitopsis pinicola وذلك لمدة أسبوعين حيث انخفضت مقاومته للانحناء بمعدل ٤٧% .

وتنخفض قيم مقاومة الخشب للانحناء مع الزمن حيث تزيد أولاً من ٢٠٠ – ٣٠٠ سنة ثم تنخفض تدريجيا وقد يعزو ذلك فى البداية إلى زيادة تبلور السيليولوز حيث تكتمل العملية خلال ٣٠٠ سنة ويعزو عملية الانخفاض فى المتانة إلى تحطم الكربوهيدرات مع الوضع فى الاعتبار ثبات العوامل البيئية المحيطة إذ أن عدم ثباتها يغير من معدل مقاومة الخشب للانحناء على حسب نوعية الظروف البيئية المحيطة .

وعملية تحطم الكربوهيدرات تؤثر على مقاومة الانحناء والشد اكثر من مقاومة الضغط المتوازى مع الألياف كما أن مقاومة الانحناء للخشب تكون حساسة وتتأثر بالمراحل الأولى من التلف الحرارى .

(٣) مقاومة القص Shear strength

وتعرف بأنها تحمل العينة لإجهاد قاص والتغير الحادث فى العينة يسمى بإزاحة القص Shear Deformation ومقاومة الخشب للقص فى اتجاه الألياف ضعيفة عنها عمودية على الألياف ولذلك فان تأثير القص ذو فاعلية فى الكمرات القصيرة كبيرة العمق حيث يتسبب الانهيار بواسطة القص أى قص فى اتجاه الألياف .

وينتج عن أنواع الجهود السابقة للخشب أنواع من الانفعالات على حسب القوى المؤثرة علية سواء ضغط أو شد أو قص وكمية الانفعال الكلى الذى تتحمله المادة حتى تصل إلى نقطة الانهيار تعتبر مقياسا لصلابتها فالخشب الذى ينكسر فجأة بعد تعرضه لقليل من الثنى أو الضغط أو القص يعتبر هشا أما الأخشاب التى تتحمل الضغوط والقوى المؤثرة عليها ويحدث بها كسر تدريجيا وتأخذ طاقة اكبر حتى تصل لنقطة الانهيار تعتبر أخشابا صلبة ويحدث الانهيار عند وصول المادة إلى حد الانفعال.

ثالثاً : الخواص الحرارية للخشب Thermal properties of wood

الخشب كالمواد الصلبة الأخرى يتمدد بالحرارة وينكمش بالبرودة ولكن هذه الخاصية تكون $\frac{1}{3}:\frac{1}{10}$ مقدار تمدد أو انكماش الطوب ويبلغ معامل التوصيل الحرارى للخشب حوالى ٠,٩٦ وهو ينخفض عن الألومنيوم بمقدار ١٧٧٠ مرة لذلك يعتبر من المواد ذات العزل الحرارى الجيد والعزل الحرارى للخشب الرطب يساوى العزل الحرارى للماء ويتوقف توصيل الخشب للحرارة على ثلاثة عوامل هى اتجاه الألياف والمحتوى

الرطوبى والثقل النوعى للخشب ، والخشب يوصل الحرارة فى اتجاه الألياف ٢,٥ قـــدر توصيله لها فى الاتجاه العمودى على الألياف وتزداد هذه المقدرة على التوصيل الحـــرارى بزيادة الرطوبة وتتناسب طردياً مع زيادة الكثافة ولذلك يـــستخدم الخـــشب فى تـــبطين الحوائط والأرضيات الداخلية للحجرات بالإضافة إلى استخدامه فى تسقيف منازل رشيد مما يعطى راحه للساكن وذلك لارتفاعه والعزل الحرارى الجيد له وتأثير ذلك على عملية التهوية للمنزل .

رابعاً : الخواص الكهربية للخشب Electrical properties

الخشب يعتبر عازل كهربى وتزيد درجة العزل الكهربى للخشب بزيـــادة كثافتـــه وبزيادة جفافه فالخشب الرطب يوصل الكهرباء وبزيادة الرطوبة الداخلية للخشب يزيد معامل التوصيل الكهربى ويمكن قياس المحتوى المائى للأخشاب بقياس المقاومة الكهربيـــة وهى من الطرق غير المكلفة للقياس .

خامساً : الخواص الصوتية للخشب Sound properties

للخشب خاصية امتصاص الأصوات ثم إصـــدار الـــرنين Resonance وقـــد استغلت خاصة الرنين لتمييز الأنواع المختلفة من الأخشاب وذلـــك بإدخـــال موجـــات صوتية على الأخشاب واستقبالها وتحليل الرنين الصادر من خلال جهاز إلكترونى يعطـــى قراءات تختلف باختلاف درجة الرنين والذى يعتمد بالتالى على تركيب الخشب وتنظـــيم حبيباته كذلك تعتمد على نسبة الرطوبة داخل الأخشاب وعلى عمر الخشب أيضا ومـــن طرق القياس غير المكلفة استخدام القياسات الصوتية لقياس خواص الخشب مثل قيـــاس قوة الخشب ونسبة الرطوبة ونسبة الفراغات ونظـــرا لخـــواص الخـــشب فى امتـــصاص الضوضاء فإنه استعمل فى كساء الحوائط والأرضيات بمنازل رشيد.

العيوب الطبيعية للأخشاب :

تتوقف هذه العيوب على المكان المزروعة فيه الأشجار وعلى كيفية خدمتها وقطعها واهم هذه العيوب هو وجود الخشب الذى يتم نضجه ولذا لا تقطع الشجرة إلا بعد تمام نضجها ونموها حتى السن المناسب وقبل أن يتجوف باطنها وتصل إلى سن الشيخوخة .

ويمكن تلخيص هذه العيوب فى :

١- العقد :

وهى نقط التقاء الفروع بالساق الرئيسى للشجرة ويتسبب وجودها فى صعوبة تشكيل وتشغيل الخشب وفى سهولة تقشره وفى ضعف مقاومته للأحمال وقد تحتوى العقد مواد صمغية مما يجعل من الصعب تغطية الخشب عند هذه النقط تغطية مناسبة بالطلاء ولذلك فإن جودة الخشب ودرجته تعتمد على مدى كثرة العقد الموجودة به لأن قلتها تحسن من نوع الخشب.

٢- الشروخ :

وهى شروخ فى الاتجاه الطولى للجذع عمودية على الحلقات السنوية وتكون داخل الكتلة الخشبية أما إذا كانت تلك الشروخ ظاهرة من الخارج فتسمى شروخ شقية وهذه الشروخ الطولية تسبب ضعف مقاومة الخشب للقص فى اتجاه الألياف وقد تكون الشروخ فى اتجاه مستعرض قطرى وتسمى قطرية وهى فى نفس مستوى الحلقات السنوية وعمودية عليها .

٣- الشروخ الانفصالية :

وهى شروخ طولية تسبب انفصال بين الحلقات السنوية وبين الألياف الخشبية بعضها البعض على طول الألياف .

٤- التناقض الخشبى :

وهو وجود جزء من اللحاء على طول ركن القطعة الخشبية وذلك غير مستحب تواجده ولكن يمكن السماح به إذا كان بحالة بسيطة لضآلة تأثيره على مقاومة الخشب للأحمال .

٥- الألياف المائلة :

ويسبب ميل الألياف عن الاتجاه الطولى ضعف فى مقاومة تحمل الخشب وخصوصا إذا كان الميل اكثر من ١ : ٢٠ وقد أوضحت التجارب أن مقاومة الكمرات والأعمدة الخشبية تقل بحوالى ٥٠ % إذا كان ميل الألياف حوالى ١ : ٦٠ ولذا يلزم استبعاد الأخشاب ذات الألياف المائلة من الاستعمال فى المنشآت .

٦- الالتواء :

يحدث التواء لبعض الأشجار وذلك ناشئ من تأثير الرياح الشديدة على الشجرة وهى صغيرة .

٧- البقع :

هذا العيب بتلف ألياف الشجرة ولا تظهر البقع ذات الرائحة الكريهة إلا عند قطع الشجرة .

٨- الرضوض :

تنشأ هذه الرضوض من إلقاء الشجرة بعد قطعها من طرفها على الأرض فيحدث انكماش وتكسير فى أليافها .

٩- الانكماش .

تحتوى أخشاب الجذوع حين قطعها على نحو ٤٠ % من المادة الغذائية ويقل هذا القدر إلى ١٢ % بعد عمليات التجفيف حتى انه يمكن إدراك النقص الكبير فى كل مـــن الوزن والحجم ويكون هذا النقص عادة فى المحيط .

١٠ – التعفن :

ينشأ التعفن من حمو الأخشاب وذلك قبل تمام نضجها ويتسبب من الرطوبة الـــتى تنشأ من عدم الالتفات إلى تهوية الأشجار خصوصا المركبة فى المبانى والـــتى تكـــون مـــن أشجار غير تامة النضج .

١١- عيوب ناتجة عن عملية الأقلمة Defects due to seasoning

وهى تشتمل على التشقق والالتواء وانفصال الألياف والانكماش الغير متساوى .

١٢ – جيوب راتنجية Resin pocket

وهى عبارة عن فجوات فى الخشب مليئة بالراتنجات السائلة .

عوامل تلف الأخشاب

إن الأسباب الأساسية التى تؤدى لتلف الأخشاب deterioration هى : التفتت disintegration أو التحلل decomposition ويمكن تقسيم العوامل التى تؤدى لتلف الخشب إلى :

أولا : عوامل فيزيائية :

وهذه العوامل تختلف وفقا للغرض الأساسى من استخدام الخشب . ويكون تأثيرها أكثر وضوحا فى حالة تواجد الأخشاب داخل المبانى أو تداخلها فى التصميم المعمارى . فيكون السبب الأساسى لتلفها عامل التغير فى الرطوبة النسبية ، والتفاوت فى درجات الحرارة والإضاءة المباشرة باختلاف أنواعها .

ثانيا : عوامل كيميائية :

هى تلك العوامل التى ينتج عنها تحلل مائى أو أكسده لمكونات الخشب أو تكسير لسلاسل البوليمرات أو الجزيئات المكونة للبوليمرات . ومن مسبباتها الآتى :

- الأحماض القوية نتيجة لتعرض الأثر للملوثات الجوية .
- القلويات القوية التى قد تنتج عن وجود الأثر ، على سبيل المثال ، بالقرب من ملح النطرون كما هو الحال فى مومياء حنت تاو .
- مواد مؤكسدة قوية .
- المذيبات العضوية ، كتلك التى تستخدم أثناء عمليات الترميم .
- الإنزيمات التى تفرزها الكائنات الحية الدقيقة .

ثالثا : عوامل التجوية :

ويكون تأثيرها أكثر وضوحا فى العناصر الخشبية المعمارية أو الزخرفية الموجـــودة خارج المبانى التى تتعرض بصورة مستمرة للتفاوت فى درجات الحرارة والرطوبة الجوية . هذا بالإضافة إلى التعرض لضوء الشمس المباشر ، والغبار ، والرياح والملوثات الجوية .

رابعا : عوامل التلف الميكانيكية :

وهى تلك العوامل التى تؤدى إلى كسر الخشب ونحره erosion ، وهى تنتج عـــن الاحتكاك المباشر للعناصر الخشبية أو الضغوط العمودية أو وجود الأثر تحـــت أحمـــال أو عند تعرضه لقوى الشد .

خامسا : عوامل التلف البيولوجية Biological damage

وتنتج عن :

- الإصابة الحشرية .
- الإصابة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة .

سادسا : تلف الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطمورة فى تربة رطبة

ويمكن شرح عوامل التلف السابق ذكرها بشئ من التفصيل كما يلى :

أولا : العوامل الفيزيائية :

١) الحرارة :

إن الاختلاف الكبير فى درجات الحرارة أثناء اليوم الواحد فى بعض المناطق يلعـــب دورا كبيرا فى تلف الخشب (أو السطح الخارجى للخشب) المعرض للجو .

يقول Thomson أن التغير فى درجات الحرارة له دورة فى تلف الآثار العضوية ، ومنها الأخشاب المعروضة فى المتاحف ويؤثر التغير فى درجات الحرارة على الأثـــر كمـــا يلى:

- تزداد معدلات التلف التى لا تحتاج إلى الضوء بارتفاع درجة الحرارة فمـــثلا إذا ارتفعت درجة الحرارة من ١٥ – ٢٠° م أو من ٢٠ – ٢٥°م للسيليلوز (مـــع ثبات الرطوبة النسبية) يزيد معدل التلف فى الظلام حوالى مرتين ونصف فى كل حالة .
- تزداد معدلات العمليات الفيزيائية مثل حركة الماء أو الهواء داخل المواد الصلبة .
- تتمدد المواد المحتوية على نسبة من الماء .
- يزداد النشاط البيولوجى فى الجو الدافئ .
- فى حالة عدم ثبات الرطوبة النسبية ، قد ينتج عن ارتفاع درجات الحرارة جفاف للخشب مما يؤدى إلى إضعافه وتعرضه للتفتت embrittlement أو التشقق .
- ارتفاع درجة الحرارة بسبب مصدر حرارى ، وكالضوء المباشر للشمس أو ضوء صناعى قوى ، يسبب أيضا جفاف الخشب حتى لو كانت الرطوبة النسبية ثابتة.

يـــذكر Zabel & Morrell أن الأخـــشاب تحلـــل بـــالحرارة thermal decomposition حيث تبدأ عمليات التحلل ، كما هو الحال فى كل المواد العـــضوية ، عند درجات حرارة مرتفعة وتبدأ التغيرات المبدأية البطيئة عند حوالى درجـــة ١٠٠م° . فيحدث الآتى :

- فقد كبير فى قوة الخشب .
- ضعف السطح الخارجى للخشب وخشونته .
- انخفاض فى خاصية امتصاص الماء .
- نقص فى الوزن .

تصاعد بعض الغازات المتكونة بسبب الحرارة منها أول و ثانى أكسيد الكربون CO و CO_2 وغاز الميثان CH_4 بالإضافة إلى بخار الماء .

تعتمد تلك التغيرات على الوقت وتزداد بارتفاع درجات الحرارة و يتشابه المظهر الخارجى للخشب فى هذه الحالة مع مظهر الخشب المصاب بفطريات العفن البنى ، إلا أن توزيع اللون البنى على الخشب كله بتساوى مع عدم وجود آثار فطرية يؤكد أن التلف ناتج عن حرارة ، أى أنه تلف غير عضوى abiotic damage .

وتقل صلابة الخشب سريعا عند تعرضه لدرجات حرارة مرتفعه ولكن لا ينتج دخان أو توهج للخشب glowing of wood عند درجات حرارة أقل من ٢٠٠°م لكن تنبعث غازات أهمها غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار ماء أما احتراق الخشب combustion المصاحب له انبعاث الضوء والحرارة فيحدث عند درجة حرارة ٢٧٥° م تقريبا .

٢) الرطوبة :

إن العامل الفيزيائى الأساسى لتلف الأخشاب الموجودة داخل المبانى هو انخفاض الرطوبة النسبية وتغيرها المستمر وخاصة فى أشهر الشتاء فى البلاد المعتدلة مناخيا (ذلك فى حالة عدم وجود أجهزة التكييف) فالخشب لا يكون مستقرا من حيث أبعادة إذا كان محتوى الرطوبة أقل من درجة تشبع الألياف حيث أن الأبعاد تتغير بصورة مستمرة عند جفاف الخشب أو تشربه للماء أو بخاره .

وتعتمد نسبة انكماش الخشب الحر الحركة عند فقده للماء نتيجة للانتقال من محتوى رطوبة مرتفع إلى محتوى رطوبة أقل على :

- نوع الخشب Wood species
- كثافة الخشب density

- اتجاه ألياف الخشب grain of wood
- التشويه فى بنية الخشب distortion in the structure of the wood

ومظاهر التلف الناتجة عن هذا العامل هى :

- ظهور شقوق و انفصالات فى الألواح مع تلف القشرة (أن وجدت)
- حدوث تقوس للخشب ، إما تقعره أو تحدبه .
- انفصال القشرة التطعيم .
- شقق وتفكك طبقة الجسو ، الألوان أو الدهانات .
- انفصال الوصلات .
- الانكماش .

ولابد أن تأخذ فى الاعتبار تباين درجة تأثر الأجزاء المختلفة المكونة لقطعة أثــاث مثلا (ويمكن تطبيق ذلك على التوابيت أيضا حيث إن بعض الأجزاء تكون مجمعة أو بهــا بعض الوصلات) نتيجة لتغير درجات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة فى الجو المحيط .

ويعتمد هذا التغير على ثلاثة عوامل متدخلة هى :

أ) عوامل بنائية structural factors :

- الاتجاه الطولى longitudinal direction
- الاتجاه الشعاعى radial direction
- الاتجاه السطحى أو المماسى tangential direction

أما قطاعات الخشب فتنقسم أيضا إلى ثلاثة قطاعات هى :

١) قطاع عرضى cross –sectional or transverse plane ويكون عمــودى على محور الساق .

٢) قطاع شعاعى radial plane ويكون مارا باللب .

٣) قطاع مماسى tangential plane ويكون عمودى على أشعة الخشب ومماسا لحلقات النمو .

ويهمنا هنا القطاعات الثلاث حيث أن كل من تلك يتأثر بدرجة مختلفة عند تعرض الخشب للرطوبة ، بالمعروف أن الخشب مادة هيجروسكوبية hygroscopic ، وهذا يفسر أن النسبة المئوية للماء الذى يحتويها الخشب تحت ظروف متعادلة equilibrium conditions تكون متناسبة مع الرطوبة النسبية فى الجو وعندما ينخفض المحتوى المائى لألواح الخشب عن درجة التشبع للألياف يحدث التغير فى أبعاد لألياف المتعارضة فى عرض الخشب cross grain alteration in width فى أحد القطاعين الشعاعى أو المماسى (توجد علاقة خطية نسبية تعبر عن التغير فى محتوى الرطوبة) ويعرف تمدد وانكماش الخشب المتأثر بالاختلاف فى المحتوى المائى " بحركة الخشب movement of wood " وتكون كبيرة جدا فى القطاع المماسى ، وأقل فى القطاع العرضى ويمكن إهمالها فى القطاع الطولى وتكون نسبة الحركة ٢ : ١ : ٠,١ على التوالى وكقاعدة عامة يمكن القول أن الخشب لا ينكمش إلا بعد فقده للماء الحر تماما وتبدأ عملية الانكماش مع بداية فقد الماء المرتبط ومع تشرب الخشب للماء مرة أخرى ينتفش الخشب ويعود إلى شكله الأصلى .

ومن الناحية التشريحية للنبات نجد أن أهم مشاكل الخشب هو الانكماش النسبى وأن التشويه الناتج عن ذلك فى الأخشاب المقطوعة يكون فى القطاع المماسى والقطاع العرضى وكما ذكر سابقا ينكمش الخشب فى القطاع المماسى ضعف انكماشه فى القطاع العرضى عملية الأقلمة بالإضافة إلى ذلك فإن الخشب المقطوع فى الاتجاه المماسى يتقوس بحيث يصبح الخشب محدبا فى اتجاه لب الخشب ، بينما لا يتقوس الخشب المقطوع فى الاتجاه الشعاعى تقريبا وهذا التقوس الموجود فى الاتجاه المماسى ناتج عن الفرق بين درجة الانكماش فى الاتجاه الشعاعى ودرجة الانكماش فى الاتجاه المماسى ويمكن أن تبسط هذا

التفسير بأن نقول أن الخشب ينكمش كثيرا فى اتجاه الحلقات السنوية وأقل كثيرا فى الاتجاه العمودى على الحلقات السنوية للخشب ويوضح اتجاه انكماش وتقوس الخشب حسب مكان قطعة من ساق الشجرة والجدير بالذكر أن عمليات التقوس لا تحدث فقط أثناء عمليات التأقلم بل أنها تحدث أيضا أثناء دورات الامتصاص وعدم الامتصاص sorption and desorption للماء أو بخاره فى الظروف العادية .

ب) تأثير المعالجات أثناء عمليات الأقلمة effect of treatment during seasoning

تلعب المعالجات أثناء عملية الأقلمة السابق ذكرها دورا هاما فى عوامل التلف الفيزيائية ، حيث ينتج عنها ظاهرة تعرف بالـ residual tension set or case hardening ، والتى تؤدى بدورها إلى تشوه الخشب عند البدء فى عمليات التشكيل أو الحر أو عند بداية تشغيل الخشب فمثلا إذا تم تسوية أحد أسطح الخشب أكثر من الأسطح الأخرى ، أو تم الحفر إلى عمق كبير فى الخشب ، فإن تلك القطعة سريعا تتعرض للتحدب فى اتجاه السطح الذى تعرض لقوة الشد tension set كما يمكن ملاحظة التغير الفجائى فى الشكل أو ما يطلق عليه springing عند محاولة نشر أخشاب قديمة .

جـ) الموقع البنائى للخشب فى الأثاث :

The constructional situation of the wood within the furniture

الذى يهمنا فى هذه النقطة هو الأثاث المصنع قبل القرن الخامس عشر الميلادى ذلك أن معظم الأثاث الخشبى قبل هذه الفترة كان مكونا من قطعة واحدة أو أكثر (ويمكن تطبيق ذلك على التوابيت أيضا) بحيث تجمع القطع باستخدام بعض الوصلات الخشبية وعلى الرغم من أن الخشب كان مؤقلما قبل تشكيله أو تقطيعه إلى المقاس المطلوب إلا أن النقص التدريجى فى محتوى الرطوبة أدى إلى حدوث انكماش وتغيير فى

أبعاد الخشب ونقص فى عرضه وهذا بدوره يؤدى إلى انفصال القطع عن بعضها ، خاصة وأن الدسر التى كانت تستخدم فى الوصلات الخشبية تنكمش أيضا . وهناك أمثلة كثيرة توضح حدوث انكماش غير متساوى فى عرض كل أجزاء الخشب المكونة لقطعة الأثاث والجدير بالذكر أن الجفاف المؤدى إلى الانكماش ر يتم بصورة متساوية فى كل الألواح المكونة للأثر فالأجزاء المعرضة للجو تفقد الماء أولا و الألياف السطحية فى أطراف الخشب تفقد الماء قبل الألياف الأخرى بذلك يحدث انكماش غير متساوى فى الخشب ، خاصة فى أطرافه التى تنكمش بدرجة أسعر من الخشب المجاور لها ، فتختزن بها قوى شد . وعند زيادة قوة الشد المختزنة أكثر مما قد تتحمله قطعة الخشب تتمزق الألياف وتنفصل عن بعضها لذلك نجد أن معظم الأخشاب القديمة تكون أطرافها منفصلة ، وتظهر التقوسات والتشوهات فى حالة الأخشاب التى قطعت فى الاتجاه المماسى وذات سمكن كبير بسبب الخصائص التشريحية السابق ذكرها فى (ب) .

ويذكر Buck فى دراسة له بعض الخواص المختلفة للخشب المرتبطة بثبات أبعاده dimensional stability ومن هذه الخواص : التقوس الثنى البلاستيكية المرونة وعلاقة الرطوبة بريولوجي الخشب wood rheology .

٣) الضوء :

يذكر Thomson أن للإضاءة المباشرة أثر ضار أيضا على المواد العضوية ويستخدم فى المتاحف أنواع من اللمبات للإضاءة المباشرة هى :

- لمبة التانجستن tungsten lamp
- لمبة الفلورسنت fluorescent lamp
- لمبة هاليد المعدن metal halide lamp

ويصدر عن أى لمبة حرارة وأشعة يلعبان دورا فى تلف الآثار وهناك قاعدة أساسية تقول أن كمية التلف الناتجة عن ضوء شديد فى فترة زمنية قصيرة تتساوى مع كمية التلف الناتجة عن ضوء قليل فى فترة زمنية طويلة وهناك قانون التبادلية reciprocity law ذو معادلات خاصة يؤكد تلك النظرية وأن الضوء مثل الأشعة ذات الطاقة المرتفعة له تأثير ضار .

والذى يهمنا فى كل الحالات هو الجرعة الكلية التى يتعرض لها الأثر total dose أو مدة تعرض الأثر للضوء exposure .

والجدير بالذكر أن كلا من الأشعة المرئية والأشعة فوق البنفسجية يتسببان فى التغير اللونى أو التلف السطحى ، أى أنه لا يكفى التخلص من الأشعة فوق البنفسجية فقط فى المتحف ولكن المشكلة التى تواجه مرممى المتحف هى أنه لا يمكن الاستغناء عن الضوء المرئى أثناء عملية العرض ، لذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار أن العرض المتحفى لأى أثر يؤدى إلى تلفه كما أنه من اختيار نسبة الإضاءة المناسبة وشدها لعرض الأثر فى أجمل صورة ، ولكن يمكن خفض كميات الضوء الصناعى داخل المتاحف بعد غلق أبواب المتحف أمام الزائرين إن شدة الإضاءة التى ينصح بها للأخشاب تتراوح بين ٥٠ — ٣٠٠ لوكس (وهذا يعتمد على نوع الخشب وطبقة الألوان والجوس التى تغطيه) .

وأثبت Hon أن الخشب يتلف عند تعرضه للضوء من خلال تجارب قام بها عند تعريض الخشب لأشعة ضوئية photo irradiation حيث نتج عن ذلك شقوق حرة (راديكالات) قادرة على التفاعل مع الأكسجين ، ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد النيتروجين لتكون مركبات كبريتية sulfinic, sulfonyl, peroxyl & sulfite radicals وقد يتكون أيضا مركبات نيتروجينية nitro & nitrate esters .

ثانيا العوامل الكيميائية :

هى تلك العوامل التى تتفاعل مع مكونات الخشب خاصة السيليولوز الهميسيليلوز اللجين والمواد البكتينية وقد تكون العوامل الكيميائية غازية أو سائلة أو صلبة ومن أمثلة الأحماض ، القلويات ، المواد المؤكسدة أو الإنزيمات التى تفرزها الكائنات الحية الدقيقة التى تنمو على الخشب وعلى الرغم من أن الإنزيمات تنتج عن عوامل تلف بيولوجية ، إلا أنها تتفاعل كيميائيا مع مكونات الخشب لذلك سوف يتم الإشارة إلى أنواع الإنزيمات ومدى تفاعلها وتأثيرها على مركبات الخشب عند الحديث عن العوامل الكيميائية أما أنواع الفطريات التى تفرز تلك الإنزيمات فسوف يتم الحديث عنها فى النقطة الخاصة بعوامل التلف البيولوجية .

تتأثر المركبات التى تدخل فى تركيب الخشب بالعوامل الكيميائية ، فمثلا يتأثر السيليلوز من خلال عمليات الأكسدة أو التميؤ . إلا أن جزيئات السيليولوز لا تمر بعمليات الأكسدة الذاتية فى درجات الحرارة العادية ، كما أن مجموعات الهيدركسيل الأولية (التى تدخل فى تركيب جزيئ السيليلوز) تتأكسد بسهولة جدا تحت تأثير الضوء إلى carboxylic acid groups و تؤدى عملية أكسدة أو تميؤ البوليمرات ذات درجة التبلمر الكبيرة إلى كسر السلاسل الكيميائية ، وهذا بدوره له أثر كبير على التغيير فى الخصائص الفيزيائية ، إذ أن كسر واحد فى السلسلة يؤدى إلى تكوين سلسلة ذات وزن جزيئى يقرب من نصف للبوليمر الأصلى وبذلك يحدث تغيير جزئى فى درجة التبلمر degree of polymerization .

واللجنين بصفة عامة سهلة التفاعل وتتأكسد سريعا إلى مركبات ذات لون بنى مائل للاصفرار بالإضافة إلى مركبات حمضية .

بوجه عام يصعب التعرف على مدى تأثر الخشب بالعوامل الكيميائية غير العضوية abiotic chemical factors فى الأخشاب الأثرية حيث أن العوامل البيولوجية يكون

لها تأثير أكبر من تأثير العوامل الكيميائية على الخشب ورغم ذلك قد تم العثور على بعض الأخشاب الأثرية المدفونة فى القطب الشمالى يتراوح عمرها ما بين ٢٠ – ٦٠ مليون سنة ، تلك الأخشاب لم تتعرض إلى أى نوع من الكائنات الحية الدقيقة ولكن ظهر بها بعض التلف حيث لوحظ وجود تميؤ حمضى بطئ acid hydrolysis أدى إلى تحلل كربوهيدرات الجدار الخلوى تدريجيا وتغيير اللجنين المتبقى وفى حالات وجود الخشب فى تركيزات حمضية أو قلوية عالية يظهر التلف بعد عدة سنوات أو عقود .

يظهر الخشب مقاومة جيدة للتحلل عند تعرضه لكثير من المركبات الكيميائية المخففة .ولهذا السبب يفضل استخدام الأخشاب فى بناء المخازن والخزانات الخ التى قد يتعرض الخشب فيها أثناء الاستعمال لرذاذ أو أيروسولات بعض الكيماويات الضعيفة بعد تكثفها أو تصاعدها ولكن عن زيادة مدة التعرض للقلويات وبارتفاع درجات الحرارة يصبح الخشب ضعيفا فتبدأ عمليات التحلل الكيميائى للخشب chemical decomposition of wood .

١) تأثير القلويات :

بوجه عام تؤثر القلويات على الأخشاب أكثر من الأحماض ، خاصة عند التركيزات العالية ودرجات الحرارة المرتفعة . فالقلويات تذيب الهيميسيليولوز وتحول اللجنين إلى مركبات لجنين قاعدية قابلة للذوبان lignin – alkali soluble complexes أما السيليولوز فلا يحدث به أى تغيرات حتى فى التركيزات العالية للقلويات .

ويصبح الخشب بعد تعرضه للقلويات المركزة ذو هيئة ليفية ، لونه باهت منتفش وله نفس مظهر تلف الخشب المصاب بأنواع من فطريات العفن الأبيض White rot degradation وتقل صلابة الخشب فى هذه الحالة .

٢) تأثير الأحماض :

تؤثر الأحماض بالدرجة الأولى على الكربوهيدرات الموجـودة بالخـشب ، إلا أن اللجنين يظهر مقاومة كبيرة لتأثير الأحماض القوية لذلك يتم التعرف على اللجنين تحليليـا من خلال إذابة الخشب فى حمض كبريتيك مركز ٧٢ % الذى يـذيب كربوهيـدرات الخشب ويعرف الرشيح المتبقى بالـ Lignin Klason وتحلـل الأحمـاض الـروابط الجلوكوزيدية (4 - 1) B فى السيليولوز والهيميسيليولوز مائيا مما يـؤدى إلى حـدوث نقص كبير فى قوة الشد للخشب tensile strength ويتحول لون الخشب فى مراحـل التلف الأولى إلى اللون البنى ويصبح ضعيفا وقصوفا brittle وتتـشابه عمليـة تفكـك البلمرة وضعف الخشب واختزال قوته فى مظهرها مع نفس مظـاهر إصـابة الخـشب بفطريات العفن البنى brown rot degradation خاصة من حيث صلابة الخشب .

ويذكر Smith فى دراسة قام بها على أنواع الأخشاب التى يمكن استخدامها مـع الأحماض وأبخرة الأحماض ، أن أخشاب شجر الصنوبر هى أكثر تحملا عـن الأخـشاب الصلبة فأنواع الأخشاب التى تتحمل الأحماض هى تلك الأنواع التى تزيد فيهـا نـسبة o – cellulose و اللجنين ويقل فيها الـ xylans .

والأحماض التى تتعرض لها الأخشاب تكون ناتجة عن الملوثات الجوية المختلفة كغاز ثانى أكسيد الكربون أو غاز ثانى أكسيد الكبريت اللذان قد يتحولان إلى أحماض فى وجود الرطوبة ومن خلال تجربة قام بها Hon ثبت عمليا أن لون الخشب يتغير بعد تعرضه لثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد النيتروجين وبزيادة قوة الأشعة فوق البنفسجية تزيد درجة التغير اللونى وتتكون بمجموعات الكربونيل carbonyl على السطح الخارجى للخشب.

٣) تأثير المذيبات العضوية :

يحدث للأخشاب التى تتعرض للكحولات والأسيتون أو البترين انخفاض فى عملية الانتفاش swelling decreased وفقد فى القوة نتيجة لزيادة الوزن الجزيئى لهذه الكيماويات وتعقد مركباتها .

٤) تأثير الأملاح وبعض المعادن :

من المعروف أن معاملة الأخشاب ببعض الأملاح يزيد من مقاومة الخشب للانضغاط ، إلا أن عدد كبير من الأملاح التى قد تستخدم فى عمليات تجهيز الأخشاب تؤثر على خصائص الخشب المختلفة ، ويجب معرفة التفاعلات التى قد تتم عند استخدام تلك الأملاح مع الخشب .

فمعالجة الخشب بأملاح حمضية مثل كرومات الصوديوم Na_2CrO_3 تؤدى إلى انخفاض فى صلابة الخشب ولا تتأثر صلابة الخشب عند معالجته بمواد حافظة (على هيئة أملاح) مثل أكاسيد النحاس ، الزرنيخ والكروم وأملاحهم الحمضية ، إلا إذ تم تجفيف الخشب عند درجات حرارة عالية وينتج عن عملية معالجة الأخشاب بالأمونيا لفترات مؤقتة انخفاض كبير فى مقاومة الثنى bending resistance يسمح بثنى الخشب حتى لو كانت زاوية الثنى حادة وذلك دون كسر الخشب أما إذا تعرض الخشب لمركبات الحديد لفترات طويلة فإن هذا يؤدى إلى حدوث ضعف موضعى ونقص قوة الخشب فى مناطق تواجد الحديد وأثناء أكسدة الحديد إلى هيدروكسيد الحديديك ، يكون الحديد عامل مساعد catalyst لعملية أكسدة السيليولوز إلى oxycellulose مما يؤدى إلى تفكك بلمرته.

وقد درس Marian & Wissing تأثير مركبات صدأ الحديد على الأخشاب ، حيث أتضح من تلك الدراسات أن الخشب المرتبط بالحديد تحت ظروف رطبة فى وجود

أكسجين ولفترات طويلة يصبح ضعيفا وتقل قوى الشد به حيث أن صدأ الحديد يؤثر على المواد العديدة التسكر فى الخشب فقط وليس اللجنين . (تؤكد هذه الدراسات أن اللجنين هو الذى يعطى قوى الضغط للخشب بينما توفر المواد السكرية قوى الشد) ومن أبرز الأمثلة على ذلك الأبواب الخشبية المصفحة ، حيث تظهر بها هذه العلاقة بوضوح . وعلى الرغم أنه يعتقد أن وجود الأيونات المعدنية فى الخشب يحفظ الخشب إلا أن تحلل الخشب قد ينتج عن تعرض الخشب لنواتج صدأ المعادن أو نواتج صدأ الحديد ، حيث إنها تضعف الخشب وتغير فى تركيب الجدار الخلوى وتعتبر الأيونات المعدنية عوامل مساعدة نشطة تؤدى إلى حدوث تفاعلات كيميائية غير بيولوجية فى الجدار الخلوى فتحلله فى وجود الرطوبة وتجعل الكلوريدات الذائبة عمليات صدأ المعادن وتلف الخشب وفى بعض الحالات قد تكون المعادن أو الحديد pseudomorphs لتصبح نسخة من الجدار الخلوى للخشب .

بالإضافة لما سبق قد تتعرض الآثار الخشبية للأملاح فى عدة حالات فمثلا قد تتعرض التوابيت الخشبية لملح النطرون نتيجة لوجود آثاره بالمومياء المحفوظة به كما هو الحال فى مومياء حنت تاو . وقد تؤثر أيضا الأملاح الموجودة فى التربة الزراعية على الآثار الخشبية المدفونة فيها .

٥) تأثير الإنزيمات :

تعتبر العوامل المساعدة catalysts من المركبات تسرع معدلات التفاعل الكيميائية دون حدوث تغير للعامل المساعد . وتشترك العوامل المساعدة البيولوجية biocatalysts أو الإنزيمات فى معظم التفاعلات الكيميائية للأنظمة الحية living systems وتفرز الكائنات الحية الدقيقة الإنزيمات التى تهاجم المركبات المكونة للخشب كى يتم تكسيرها

فتتمكن الكائنات الحية الدقيقة أن تتغذى عليها وتقسم الإنزيمات إلى ستة مجموعات أساسية هى :

١- Oxido – reductases

وهى إنزيمات تقوم بعمليات أكسدة واختزال على أساس فقد الكترونات أو الحصول عليها .

٢- Transferases

وهى إنزيمات تنقل الشقوق الحرة (الزاديكالات) مثل راديكالات الأمينو ، الميثيل والأسيتيل من مركب لآخر .

٣- Hydrolases

وهى إنزيمات تفصل المركبات عن بعضها عند الكبارى الأكسجينية bridges oxygen لكتون مونومرات أو دايمرات dimmers من خلال إضافة الماء .

٤- Lyases

وهى إنزيمات قادرة على إزالة المجموعات تاركة رابطة مزدوجة أو العكس إضافة مجموعات إلى الرابطة المزدوجة .

٥- Isomerases

٦- Ligases (synthetases)

وهى إنزيمات تعمل كعامل مساعد لتجميع الجزيئات لتكون مركب جديد.

كما يمكن تعريف الإنزيمات على أساس أماكن تفاعلها :

١- endocellular أى أنها تتفاعل داخل الخلية .

٢- cxocellular أى أنها تتفاعل خارج الخلية .

ويتم تكسير جزيئات السيليولوز ، الهيميسيليولوز واللجنين بواسطة الإنزيمات السابق ذكرها كما يلى :

– السيليولوز :

يتحلل هذا البوليمر بواسطة مركب متعدد الإنزيمات multienzyme complex يعرف عادة باسم cellulose وهو يتكون من ٣ إنزيمات على الأقل تختلف من فطر لآخر ونوع المادة الغذائية substrate تنتشر الـ 1,4B – D- glucanases فى مهاجمة البوليمر عشوائيا . قد يحتاج الامر الى انزيمات منفصلة لابعاد السلاسل الجانبية ، الا ان ميكانيكية عملية التحلل للبوليمر ومهاجمة السلاسل الجانبية غير معروفة حتى الآن تهاجم ال exoglycosidases بعد ذلك ما تبقى من السكريات المحدودة (من ٣ – ٩ وحدات) oligiosaccharides مما يمكن للكائن الحى بع كل هذه العمليات الكيميائية امتصاص واستخدام وحدات الـ glucose, galactose xylose, mannose, كغذاء له .

– اللجنين :

ويتعبر التحلل البيولوجى للجنين من أفضل القرائن التى تفرق بين فطريات تحلل الخشب والكائنات الحية الدقيقة الأخرى . إن تحلل اللجنين بواسطة الإنزيمات ضرورى كى تتم عملية هضم أو تحلل الكربوهيدرات ولا زالت ميكانيكية تحلل الإنزيمات للجنين غير معروفة ما عدا بعض حالات فطريات العفن الأبيض . وتعتمد عملية التحلل الإنزيمى للجنين أساسا على عملية الأكسدة على عكس الإنزيمات القادرة على التحلل المائى hydrolytic التى تحلل السيليوز والهيميسيليولوز . ويعتبر انفصال الكربون عن طريق الأكسدة إلى carbon bonds و روابط الإيثير فى بعض وحدات phenyl propane من خلال إنزيم peroxidases من الخطوات الأساسية فى عملية تكسير اللجنين .

ثالثا : عوامل التجوية (عوامل تلف فيزيوكيميائية) :

وتضم تلك العوامل الحرارة والرطوبة والضوء والهواء والغبار ولقد سبق ذكر التأثير المتلف للضوء والحرارة و الرطوبة فى الجزء الخاص بالعوامل الفيزيائية إلا أنها تدخل أيضا ضمن العوامل الجوية بالإضافة إلى عاملين آخرين هما الهواء المحمل بالغبار أو الهواء المحمل بالغازات والملوثات . وأكثر الأخشاب تعرضا للعوامل الجوية هى تلك الأخشاب المستخدمة فى المشربيات والنوافذ حيث تكون معرضة للجو مباشرة والذى تتفاوت فيه درجات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة وضوء الشمس والهواء بمكوناته الملوثة المختلفة كالغازات والقار والرمل (مع مراعاة أن الهواء ذو تأثير آخر فى عمليات الجفاف والبخر) ويزداد التلوث الجوى بصفة خاصة فى المدن الكبرى والصناعية بسبب عمليات حرق الوقود التى ينتج عنها ثانى أكسيد الكبريت ، ثانى أكسيد النيتروجين والأوزون .

نجد بوجه عام أن سطح الخشب عند تعرضه للعوامل الجوية atmospheric agents وضوء الشمس ، يمر بعمليات تفتت كيميائى وفيزيائى physical and chemical disintegration وهذا النوع من التلف لا يؤثر على قوة الخشب ولكنه يعتبر فى بعض الحالات مشوه للشكل الخارجى disfiguring بعد عدة سنوات من التعرض للجو الخارجى . ويصبح لون الخشب مائل للرمادى و ذو ملمس خشن roughened texture .

ولكن أكثر هذه العوامل خطورة هى الـ photon energy الناتجة عن الأشعة الشمسية (بكل مكوناتها مثل الأشعة فوق البنفسجية ، الضوء المرئى ، والأشعة تحت الحمراء) حيث أن التلف الكيموضوئى للأسطح الخشبية المعرضة لضوء الشمس يكون سريع ، فيتغير لون الخشب من اللون الأصفر إلى اللون البنى ثم إلى اللون الرمادى فى

النهاية وهذه التغيرات اللونية مرتبطة بتحلل اللجنين فى خلايا الخشب السطحية . وتعتبر هذه التغيرات ظواهر سطحية حيث يتراوح عمقها ما بين ٠,٠٥ – ٢,٥ مم ويتسبب التحلل الكيموضوئى بواسطة ضوء الشمس ، خاصة الأشعة فوق البنفسجية فى تغيير التركيب الكيميائى اللجنين ، مما ينتج عنه التغير اللونى السابق ذكره .

وأهم المظاهر المصاحبة للتجوية هى :

- التلف الكيموضوئى photochemical chemical (بواسطة الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجة الطويلة أو الموجة القصيرة) لمكونات الجدر الخلوية بالخشب wood cell – wall constituents .
- أكسدة لنواتج عمليات التلف break down products .
- إزاحة لنواتج التحلل القابلة للذوبان soluble decomposition products leaching of the .
- حدوث تلف ميكانيكى نتيجة عمليات التمدد والانكماش المتكررة لعناصر سطح الخشب بسبب تشرب سطح الخشب أو فقده للماء .

وتبدأ عمليات التغير اللونى وأكساب الخشب اللون البنى نتيجة للتحلل الكيموضوئى للجنين ومواد أخرى مستخلصة extractive photo – chemical decomposition فتتكون الراديكالات الحرة التى تؤدى إلى تحلل الكربوهيدرات البنائية structural carbohydrates وأكسدة المركبات الفينولية phenolic moieties بعد إزاحة السطح أى إزالة نواتج التحلل القابلة للذوبان تتعرض المواد الكربوهيدراتية الأكثر مقاومة للضوء إلى عوامل التجوية والأكسدة وبوجه عام تتحلل مركبات الـ xylans أكثر من الليلولوز أو الهيميسيليولوز الغنى بالجلوكان . ويكون كل من السيليولوز المستبقى والنمو السطحى لفطريات التبقع مثل فطر Aureobasidum pullulans اللون الرمادى للسطح بعد تكون القشرة الخارجية التى نتجت عن التجوية Weathered

outer shell تقل معدلات التجوية لما توفره هذه القشرة من حماية ضد التلف الكيموضوئى ، إلا أن استمرار عمليات البلل والجفاف للسطح الخارجى المعرض للتجوية تؤدى إلى تمدد وانكماش هذه الطبقة فيصبح السطح فى النهاية منفصلا ومتشققا على هيئة مكعبات .

وقام Hon بدراسة تأثير الهواء وبعض الأشعة على الخشب فأتضح أن للملوثات الجوية والأشعة فوق البنفسجية أثرهما على الخشب بحيث يتلف الخشب كيميائيا وفيزيائيا وقد يحدث التغير اللونى للخشب المعرض للضوء ، وكذلك الخشب المعرض لثانى أكسيد الكربون وثانى أكسيد النيتروجين فى وجود أو غياب الأشعة فوق البنفسجية فتتكون مجموعات الكربونيل على سطح الخشب وقد أتضح من خلال دراسة بواسطة electron spin resonance spectroscopy أن الراديكالات الحرة فى الخشب الناتجة عن الضوء تتفاعل بسهولة مع كل من الأكسجين ، ثانى أكسيد الكبريت وثانى أكسيد النيتروجين مما يؤدى إلى تحلل كل من السيليولوز ، الهيميسيليولوز واللجنين .

ويقول (85) Thomson أن الخشب ككتلة كبيرة لا يتأثر كثيرا عند تعرضه لثانى أكسيد الكبريت ولكن القشرة الخارجية الرقيقة من الخشب قد تتأثر ، خاصة فى وجود الرطوبة أما الأوزون ، وهو مادة مؤكسدة قوية فنجد أنه قادر على مهاجمة المركبات العضوية غير المشبعة حيث يقوم بتكسير كل الروابط المزدوجة فى السلسلة الكربونية إلا أن خطورته تزداد على المواد السيليولوزية من خلال التحول الجزئى إلى فوق أكسيد الهيدروجين من خلال تفاعله مع الماء .

رابعا : التلف الميكانيكى :

وهو من عوامل تلف الأخشاب النادرة ، ويظهر على هيئة تشققات بسيطة أو انفصال أجزاء صغيرة من سطح الخشب ويعتبر هذا العامل من عوامل التلف الأساسية فى الأخشاب المستخدمة فى المنازل والأرضيات فى المصانع التى توجد فيها أجهزة ثقيلة الوزن حيث يحدث احتكاك قوى أو تمزق rupture ويمكن متابعة مظاهر التلف الناتجة عن هذا العامل فى حقل الآثار فى الأخشاب الواقعة تحت ضغط أو حمل كبية مثل الأجزاء الخشبية المحطمة والمهشمة التى وصل عددها إلى ما يقرب من ٢٠ قطعة فى قاع الحفرة الخاصة بمركب خوفو ، حيث كانت كل الأجزاء والكتل الخشبية مرصوصة بعناية ودقة فوق بعض طولا وعرضا فى ١٣ طبقة فى الحفرة.

ويظهر التلف الميكانيكى أيضا فى العناصر المعمارية والأسقف والقباب الخشبية ، كمثال لذلك عدد كبير من الآثار الإسلامية برشيد فقد وصلت أخشاب المشربيات والنوافذ والدعامات والدواليب قاعات المنازل إلى حالة شديدة من التلف نتيجة لما ترضت له من تلف ميكانيكى مصاحب بالتلف الحشرى وارتفاع نسبة الرطوبة.

خامسا : التلف البيولوجى :

يفضل تقسيم التلف البيولوجي إلى قسمين أساسين هما :

١- الإصابة الحشرية .

٢- الإصابة الميكروبيولوجية .

وقد يصاب الخشب بأحد العاملين أو كليهما ولكن كثيرا مـا تكـون الإصـابة الحشرية مرتبطة بالتلف الفطرى بسبب وجود تشابه فى الظروف البيئـة للنمـو أو لأن الحشرات قد تكون الوسيط الذى ينقل الفطريات insect vectors وسوف يتم تتناول الدراسة كل نوع على حدة :

١) الإصابة الحشرية :

تعتبر الحشرات مثل الكائنات الحية الدقيقة عامل بيولوجى أساسى لتلف الأخشاب فالحشرات تستخدم الخشب للمعيشة فيه أو كمصدر غذائى لها وتقـوم الحـشرة لكـلا الغرضين بقرض الخشب إلى أجزاء صغيرة جدا تعرف ببقايا الفتات الصغيرة من الخشب أو مواد الاستخراج الحشرية fecal material بالـ frass . وتستخدم دائمـا كمؤشـر لوجود إصابة حشرية غير ظاهرة داخل الخشب فالإصابة الحشرية فى الخشب تكـون فى صورة قنوات غير ظاهرة أو قنوات سطحية أو مناطق بها آثار قرض لما تقوم به الحشرات بأجزاء فمها القارض أثناء معيشتها داخل الخشب لذلك يمكن التفرقة بين البقع الناتجة عن التلف الفطرى والبقع الناتجة عن الإصابة الحشرية وللحشرات خطورة أخرى ، لأنها تعتبر الناقل الأساسى vector لفطريات التبقع والفطريات المتلفة للأخـشاب ، خاصـة لأن ظروف نموهما وتغذيتهما على الخشب متشابهة .

التغذية الحشرية :

تتميز الحشرات المتلفة للأخشاب بأجزاء فم متخصصة لتكسير المواد الصلبة وتفتيتها heaving & chewing حتى يتراوح حجمها بين عدة خلايا خشبية فى حالة حشرة Hylotrupes ومسحوق دقيق جدا فى حالة حشرة Lyctus ويعتمد الحجم الكلى للأنفاق والثقوب الناتجة عن معشية تلك الناخرات داخل الخشب على الحجم الكلى لليرقة ومقارنة بالفطريات تكون كمية المادة التى تزيلها الحشرة بفمها فى المرة الواحدة أكبر بكثير من التلف لناتج عن الخيوط الفطرية hyphae ويتراوح قطر تلك الفتحات أو الثقوب بعدد من الخلايا الخشبية . ثم تبدأ مراحل التكسير والامتصاص لكسر الخشب داخل فم الحشرة وتحتاج الحشرات المتلفة للأخشاب لنموها القيام بعملية التمثيل الغذائى assimilation على الأخص الماء (الماء الحر أو الماء المرتبط فى الخشب) والنيتروجين العضوى ، ومصدر كربون عضوى وبعض المواد البنائية للخشب .

وعلى الرغم من أن المعادن والفيتامينات هامة للحشرات إلا أن غيابها فى الخشب لا يحد من نموها وتتم عمليات تكسير الخشب وهضمه فى الأمعاء الحشرية insect gut system التى تنقسم إلى ثلاثة أجزاء هى :

١ – مقدم القناة الهضمية foregut

٢ – نصف المعى midgut

٣ – المصران الخلفى hindgut

وتقوم عضلات هذه الأجزاء بحركات انقباضية peristaltic churning تساعد على خلط وتحريك أجزاء الخشب فى الأمعاء . ويقوم مقدم القناة الهضمية أساسا بتخزين الغذاء ، وقد تحدث عملية الاختزال فى حجم الجزيئات فى هذه المنطقة بواسطة إنزيمات هاضمة كى تزيد كمية الغذاء المخزنة وتوجد هذه الظاهرة فى الحشرات المتلفة للأخشاب ذات القدرة العالية فى الهضم مثل حشرة Anobium punctatum بالإضافة إلى ذلك

قد تحدث يبعض التغيرات فى مقدم القناة الهضمية نتيجة لوجود جزء صاحن يساعد فى عملية اختزال حجم الغذاء . ونادرا ما يحدث تكسير أو امتصاص للغذاء فى منطقة مقدم القناة الهضمية ، على الرغم من رجوع بعض عصارة نصف المعى إلى مقدم القناة الهضمية وتتم عملية الهضم لمعظم الكربوهيدرات ، والبروتينات والدهون فى النصف معى ، الذى يحتوى غالبا على إنزيم السيليوليز cellulase ذو الأصل الحشرى ، ومع هذا تتم عملية هضم السيليولوز فى المصران الخلفى بواسطة السيليوليز الميكروبى microbial cellulase فى بعض المجموعات الحشرية خاصة مجموعة lower termites . ويتم امتصاص الماء ومونومرات البوليمرات المفتتة (مركبات أحادية التسكر ، أحماض أمينية) والجلسويدات الثلاثية فى النصف معى . بالإضافة إلى ذلك قد يتم الامتصاص أيضا فى المصران الخلفى .

وبوجه عام يكون المحتوى المائى للخشب الذى تحتاج إليه الحشرات المتلفة للأخشاب أقل بكثير من احتياجات الفطريات المتلفة للخشب مع الوضع فى الاعتبار أن هناك عدد من الحشرات القادرة على إصابة الخشب المبلل أو المشبع بالماء وقد تحدث الإصابة الحشرية فى بعض الحالات قبل أقلمة الخشب ومن أمثلة ذلك ambrosia beetles التى تصيب الخشب ذو محتوى مائى أعلى من ٣٠ % أو Nacerdes melanura الذى يصيب الخشب الرطب المتحلل قيلا أما الـ sry wood termites مثل Kalotermes فهى قادرة على أن تتغذى على الخشب حتى إذا انخفض المحتوى المائى إلى ٥ أو ٦ % وبالنسبة لحشرة Anobium punctatum الواسعة الانتشار فى عدد كبير من البلاد ، فهى تصيب معظم الأخشاب المستخدمة فى العمارة . وذلك لأنها تتحمل المعيشة فى الخشب ذو محتوى مائى ١٢ % وليرقات هذه الحشرة القدرة على النمو فى الخشب عند متحوى مائى أقصاه درجة تشبع الألياف والحشرة الكاملة النمو للـ Anobium قد تعيش داخل الخشب الرطب لفترات محدودة إلا أنها لا تنمو داخل

الخشب المبلل بصورة مستمرة . مما سبق يتضح أن ارتفاع نسبة الرطوبة فى الخشب قد يقف نشاط بعض الحشرات .

يؤثر كل من درجة الحرارة والمحتوى الماء ونسبة المواد الغذائية فى المادة على نمو الحشرات فمثلا نجد أن كل من درجة الحرارة ومحتوى الرطوبة من العوامل الأساسية المساعدة على نمو خنفساء Xestohium rufovillosum ، إحدى ناخرات الأخشاب كما أن وجود إصابة فطرية فى الخشب من العوامل الأساسية المساعدة على نمو الحشرات ، فكلما ذادت الإصابة الفطرية فى الخشب كلما زاد معدل تطور الحشرة .

ومن ناحية أخرى وجد أن أعلى نسب لمحتوى النيتروجين تتوفر فى الجزء الخارجى من الخشب العصارى إلا أن عملية إعادة توزيع المواد النيتروجينية فى الأجزاء الخارجية قد تحدث أثناء تجفيف الخشب وكمثال لذلك تم تسجيل نسب النيتروجين فى أجزاء مختلفة من خشب الصنوبر sylvesris pimus المجفف فأتضح أن محتوى النيتروجين على السطح الخارجى أعلى بكثير من محتوى النيتروجين فى اللب وبوجه عام تعتبر نسب النتيروجين فى الخشب منخفضة جدا ، وتعتبر نسبة ٠,٠٣ % نيتروجين هى الحد الأدنى الذى يساعد على نمو حشرة bajalus Hylotrupes على الخشب ويوجد عدد كبير من الحشرات القادرة على النمو والتغذية على خشب ذو نسبة نيتروجين منخفضة ، فمثلا يمكن ليرقات Anobium punctatum النمو على الخشب ذو نسبة نيتروجين منخفضة جدا بل إنه تم ملاحظة أن هذه اليرقات تقوم بتثبيت النيتروجين وقد يحدث ثراء غذائى بعد التكسير الميكروبى الجزئى لكربوهيدرات الخشب مما ينتج عنه تغير فى نسبة كربون : نيتروجين وهذا بدورة يشجع على نمو الحشرات وقد أمكن عزل بعض البكتريا المثبتة للنيتروجين من الـ termites ويزيد نشاط هذه البكتريا من ثراء مكونات الغذاء ومن المحتمل أن تتكسر الأنسجة الخشبية لتتحول إلى مونومرات كربوهيدراتية ، مع حدوث تمزق فى اللجنين .

ومن المقترح أن الكائنات الحية الدقيقة التى تكون مستعمراتها على الخشب تكـون مصدر للنيتروجين البحرية والفيتامينات و trace elements التى تحتاج إليهـا حـشرة Limnoria وهى أحد ناخرات الأخشاب البحرية . ومن المحتمل أن حشرة Nacerdes melanura تفضل الأخشاب المصابة فطريا وأن يرقات تلك الحشرة لا تصيب الأخشاب السليمة ، بل تنخر فى الأخشاب المصابة الموجودة فى بيئة رطبة ولكنه قد لوحظ أن هـذه الحشرة قارة على إصابة أجزاء سليمة من خشب ذو محتوى مائى عالى جدا وقد أصـابت هذه الحشرة الأخشاب المختلفة لسفينة Mary Rose ومنـها خـشب البلـوط oak ، وخشب الصنوبر pine حيث تراوح المحتوى الماىَ للخشب ما بين ١٣١ – ٦٧٠ % .

ومن العوامل الضرورية لنمو الحشرات تـوفر الأكـسجين فى الجـو .بانخفـاض الأكسجين الجوى إلى تركيز أقل من ١ % لفترات طويلـة تمـوت الأطـوار المختلفـة للحشرات التى تصيب الآثار العضوية المختزنة خاصة إذا ارتفعت درجـات الحـرارة فى الوقت نفسه ومن ضمن الحشرات التى تم اختبار مدى مقاومتها لانخفـاض الأكـسجين الجوى :

Tineola bisselliela l asioderma serricrne Stegobium panicsum Lyctus brnmeus, Authrems vorax .

وكل الحشرات السابق ذكرها لم تظهر emerge بعد التعريض لمدة تتـراوح بـين أسبوع وثلاثة أسابيع لجو شبه خالى من الأكسجين.

وتظهر الحشرات قدرة عالية على تكـسير مكونـات الخـشب فمـثلا حـشر Limnoria تستهلك النشا وحشرة Anobium punctatum قـادرة علـى هـضم السيليلوز ، والهيميسيليولوز ، وتكسير قليل من اللجنين أما عملية تكسير كل اللـجنين فتتم فقط بواسطة أنواع من الـ termites وكمرحلة وسط بين الأمثلة السابق ذكرهـا يمكن ذكر حشرات Scolytidae التى تحلل مكونات الخلية والهيميسيليولوز وحـشرات

Anobidae وبعض حشرات Cerambiydaeى تستخدم كل الكربوهيدرات الموجودة بالخلية بالإضافة إلى السيليولوز.

وهناك ظاهرة تفضيل بعض أنواع الأخشاب كغذاء لبعض الحشرات ، فمثلا ينمو جنس Lyctus سريعا ليهاجم الأخشاب الغنية بالنشا ، بينما ينمو جنس Anobium ببطء ولكنه قادر على هضم عدد أكبر من أنواع الأخشاب ومن ناحية أخرى نجد أن عدد كبير من الحشرات يحتاج إلى معاونة فى عملية الهضم إما بواسطة كائنات دقيقة تستقر فى المصران الخلفى للحشرة أو بواسطة كائنات حية دقيقة تنمو على الخشب وتجهزه مبدئيا لتغذية الحشرة ، كما أن هناك بعض الحشرات القادرة على إفراز إنزيم السيليوليز بنفسها مثل حشرة Hylotrupes bajalus .

مما سبق يتضح أن هناك علاقة وثيقة بين عملية هضم الحشرات للغذاء والكائنات الحية الدقيقة ذلك أن عملية هضم الخشب والتغذية عليه مرتبطة بالكائنات الحية الدقيقة كما يلى :

١- يتم اكتساب الإنزيمات المنتجة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى المادة الغذائية التى تبتلعها الحشرة ingested substrate .
٢- هضم المادة الغذائية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة قبل ابتلاع الحشرة لها .
٣- يحدث الإثراء الغذائى على هيئة خلايا ميكروبية ونواتج أيضية (غذائية) metabolites .
٤- تزال خلاصة الخشب أو مواده السامة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة .
٥- تنتج وتفرز الميكروبات المتواجدة داخل الأمعاء الإنزيمات الضرورية .
٦- تقوم الكائنات الحية الدقيقة بعمليات التحلل التى تكون مصدرا أساسيا للكربون الذى تحتاج إليه الحشرات أثناء التمثيل الغذائى .

وفى بعض الحالات تتغذى الحشرات على الفطريات التى تنمو على الخـــشب ، ثم تقوم الحشرة بنقل الجراثيم spores أخرى مناسبة أو قد تقوم الحشرات بتوفير البيئات المناسبة لنمو الحيوانات الأولية protozoa .

والحشرات الوحيدة التى لا تحتاج إلى المعيشة التكافلية مع الكائنات الحية الدقيقـــة هى Hylotrupes sp التى تتغذى على كمية كبيرة من الخشب الغنى بالنشا وقد أجريت فى السنوات الماضية دراسات عديدة عن تعايش الحشرات المختلفة مع الكائنـــات الحيـــة الدقيقة على الأخشاب المتنوعة المؤقلمة إلا أن هذه الدراسات لا تفيد فى مجال الترميم إلا إجراء الفحوص والدراسات المتكاملة للتعرف على أنـــواع الإصـــابة المكروبيولوجيـــة والإصابة الحشرية التى تهاجم الأخشاب الأثيرية والتى يتم العثور عليها تحت ظروف مختلفة فى المواقع الأثرية أو المتاحف .

٢) الإصابة الميكروبيولوجية :

يعتبر التلف والتغير اللونى الناتجان عن إصابة الخشب بالفطريات أو البكتريا مـــن الأسباب الأساسية لتلف الأخشاب والجدير بالذكر أن تلف الخشب وتغيره لونيا بـــسبب الكائنات الحية الدقيقة يختلف تماما من حيث طبيعة عوامل التلـــف الـــسابق ذكرهـــا . فالكائنات الحية الدقيقة كائنات فريدة ذات أنظمة متطورة قادرة على التوغل والمهاجمة ، والهضم الخارجى وامتصاص المكونات الذائبة من مـــواد غذائيـــة مركبـــة complex substates كالخشب .

إن الدور الأساسى للفطريات والبكتريا فى النظام البيئى الطبيعى ecosystem هو القيام بعمليات التحلل وإطلاق ثانى أكسيد الكربون وبعض العناصر الأخرى الـــضرورية للتمثيل الضوئى فى النباتات وبالتالى استمرارية الحياة ويقوم بهذا الدور الكـــبير مجموعـــة متخصصة من الفطريات تعرف بالفطريات المحللة للخشب أما البكتريا فى كائنات تنمـــو

أساسا على الأسطح الخارجية للخشب وتتخلل إلى أنسجته عن طريق الكائنات الحيوانية الدقيقة mictofauna و الفطريات بواسطة الجاذبية الشعرية للأسطح المائية water menisci المحدبة والمقعرة التى تظهر أثناء بلل السطح أو جفافه يعتبر التلف البكتيرى للخشب قليل الأهمية ، حيث تتسبب البكتريا فى ظهور خدوش جدارية موضعية localized wall etchings و أنفاق أو فراغات فى الجدر الخلوية . وعندما يتم تخزين الخشب تحت الماء أو حفظه مبللا قد تتلف البكتريا الخلايا البرنشيمية أو الأغشية النقرية pit membranes ، مؤدية بذلك إلى زيادة نفاذية الخشب .

أما مظاهر التلف الناتجة عن الفطريات فيمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام أساسية هى :

أ) التلف الناتج عن فطريات صغيرة moulds :

وهى فطريات تنمو على سطح مبلل جدا وتستخدم مركبات الكربون البسيطة المتوفرة ويتسبب نمو الغزل الفطرى على الخشب فى ظهور مساحات لونها أسود أو رمادى أو أخضر ، أو بنفسجى أو أحمر .ويكون لتلك الفطريات رائحة مميزة ويمكن إزالتها غالبا بواسطة الفرشاة أو بمسح الخشب ولكنها قد تتسبب فى انخفاض جودة الخشب .

ب) التلف الناتج عن فطريات التبقع stain fungi :

هذا التلف ناتج عن فطريات تهاجم الخشب العصارى . إذ تهاجم فطريات التبقع أساسا الخلايا البرنشيمية فى الخشب العصارى ويحدث التغير اللون نتيجة لتراكم الكميات الكبيرة للغزل الفطرى الملون pigmented hyphae الموجود داخل الخلايا الخشبية وعلى الرغم من أن التلف الناتج عن فطريات التبقع فى خلايا البروزنشيمة (وهى نوع من الخلايا البارنشيمية) prosenchyma cells قليلة ، إلا أنها قد تؤثر على خواص أخرى للخشب مثل متانته ونفاذيته .

جـ) التلف الناتج عن تحلل الخشب بواسطة الفطريات المحللة decay fungi :

ينتج تحلل الخشب أساسا نتيجة لهضم الخشب بواسطة الفطريات المحللة . ونظرا لأن عملية الهضم بطيئة فسوف يترتب عليها استمرارية تغير مظهر الخشب وخصائصه الفيزيائية والكيميائية وتختلف الفطريات عن بعضها فى طريقة وأسلوب مهاجمة مكونات الجدر الخلوى الخشبية مما يؤدى إلى وجود عدة طرز من التحلل :

- العفن البنى brown rot

  وينتج عن مجموعة من الفطريات التى تهاجم أساسا كربوهيدرات الجدار الخلوى .

- العفن الأبيض white rot

  ينتج أساسا عن مجموعة من الفطريات التى تهاجم كل من كربوهيدرات ولجنين الجدار الخلوى .

- العفن اللين soft rot

  وينتج عن فطريا دقيقة microfungi تصيب اختياريا منطقة S2 فى الجدار الخلوى . ومن أنسب الظروف لنمو فطريات العفن اللين ارتفاع محتوى الرطوبة فى الخشب ووجود الخشب فى تربة رطبة .

تقول Ahmedova أن كل من السيليولوز واللجنين من المكونات النباتية التى تقاوم عوامل كثيرة إلا أن أكثر العوامل المؤثرة فى كل من اللجنين والسيليولوز هى التحلل الإنزيمى بواسطة الكائنات الحية الدقيقة . ويحدث التحلل التام عند الإصابة بفطريات العفن الأبيض rot white fungi (غالبا ما يكون من الفطريات البازيدية وبعض الفطريات الأزقية& ascomycetes basidiomycetes) أو فطريات العفن البنى brown rot fungi (الفطريات البازيدية) أو فطريات العفن اللين soft rot fungi (فطريات imperfect fungi وفطريات أزقية) تستخدم فطريات العفن البنى معظم المواد العديدة التسكر polysaccharides لتفكك البنية اللجنينية والخلق جو

مناسب لنمو فطريات العفن الأبيض الذى يفرز بعض الإنزيمات ومن أهمهــا laccase, peroxidase القادرة على تفكك بوليمرات اللجــنين depolymerization وعلــى الرغم من تعدد الأبحاث ، لم يعرف بعد طرق أكسدة اللجنين بواسطة الكائنــات الحيــة الدقيقة ودور الإنزيمات فى هذه العملية وقد درست Ahmedova عدد من الفطريــات والإنزيمات التى تفرزها تلك الفطريات ومدى تأثيرها على المزارع المحتوى على بقايا نباتية ، حيث استعانت بالسلالات النشطة المحللة للوسط الغذائى أو عميل الإنزيم substrate المحتوى على lignocellulose وكانت المزارع النشطة للفطريــات البازيديــة الــتى تم اختبارها تضم فطريات hispidus, pleurotus ostreanus, tigrinus, lnonotus Fomes fomentarius hispidus

ثم تم دراسة الإنزيمات المتكونة على حسب التركيــب الخــاص لمكونــات الـــ lignocellulosw فى الوسط وفترة النمو والزراعة cultivation time لتحديد وتقدير النشاط الإنزيمى ونوعه لكل فطر . وأوضحت النتائج أن فطــر lnonotus hispidus أكثر الفطريات إفراز الإنزيم السيليوليز cellulases وأن فطر pleurotus ostreatus هى أكثر الفطريات إفرازا لإنزيمى xylanses & lignases .

كما قام Gao et al. بدراسة الإنزيمات الــتى تفرزهــا فطــر Ttichoderma viridio القادرة على القيام بعملية تميؤ للروابط الجلوكوزيدية (2 – 1) & (4 – 1) B – D glycosidic bonds (وهى نفس روابط جزيئات السيليولوز) وروابط أخرى متعددة . أما Kuuti et al فقد قاموا بدراسة تأثير الإنزيم cellbiohydolase (CBHI (الذى يفرزه فطر Trichoderma reesei وقد أتضح أن هذا الإنزيم يرتبط عــشوائيا بجزئ السيليولز عند سطحه ويساعد على الإقلال من سمك الميكروفيريل .

ومن ناحية أخرى ينظر Blazej et al إلى عملية تميؤ السيليولوز بمفهوم آخر حيث يرى أنه يمكن تفسير هذه العملية على أساس البنية الإلكترونيــة (الــشحنات) لمركــز التفاعلات (الروابط الجلوكوزيدية) فقد تم التمييز بين الروابط الجلوكوزيدية الــثلاث

متساوية فى جزئ السيليولوز باستخدام الـ eiectronic model system structure والـ cellulose oligomers conformational analysis of إن التنشيط أو المنع للإنزيمات السيليولوز of cellulytic enzvmes activation & inhibition بواسطة الفينولات تتأثر من خلال خلق مركبـــات عديـــدة الإلكتروليـــت polyelectrolyte complexes بين الإنزيمات والمركبات الفينولية ويمكن تفسير هذا التداخل عن طريـــق روابط غير تساهمية non – covalent bonds (وهى المركبات العكـــسية revesible complexes) وروابط تساهمية covalent bonds (وهى المركبات غـــير العكـــسية complexes irreversible) .

بالإضافة إلى الدراسات السابقة قان Flournoy & paul بدراســة الـــتغيرات فى التركيب الثقبى pore structure وحجم الثقوب فى الجدار الخلوى cell wall pore volume فى الخشب المصاب بفطريات العفن البنى وقد تكون نتائج هذه الدراســة ذات فائدة للإجابة عن التساؤلات الخاصة بتخلل البروتينات المتلفة ووصولها إلى عميل الإنزيم المناسب substrate وقد أوضحت الدراسة أن عامل العفن الـــبنى brown rot agent يخترق الجدار الخشبى مسببا تشقق السيليولوز فى الأجزاء غير المتبلورة من الميكروفيبريل . ومن خلال بعض القياسات وجد أن الخشب المصاب صناعيا بواسطة الفطريـــات تقـــل درجة تبلور سيليولوزه إلى ٢٠٠ لهذا يعتقد أن قطر الثقوب للجدار الخلوى يتراوح ١٢ – ٣٨ A وهى الثقوب التى تمر منها المواد المحللة للسيليولوز حتى تصل إلى مواقع تشقق السيليولوز . وفى حالة إصابة الخشب بفطريات العفن الأبيض تحدث الـــتغيرات فى بنيـــة الجدار الخلوى نتيجة عملية الإزالة الاختيارية للجنين مما يؤدى إلى زيادة ملحوظة فى درجة تشبع الألياف f.s.p. وزيادة فى توزيع الثقوب وأقطارها . وتـــؤدى إزالـــة المكونـــات الأساسي للخشب بسبب فطر العفن الأبيض إلى نقص ٤٠ % من وزن الخشب وزيـــادة حجم الثقب بالجدار الخلوى لكى يتراوح حجمه بين ٢٠ – ٥– A ويترتب على هـــذا

عدم إمكانية تغلغل جزيئات إنزيم السيليولوز cellulose نظرا الكبر حجمهـــا وتوضـــح النتاج السابقة أن عملية تفكك بوليمرات السيليولوز بواسطة فطريات العفن البنى تتم فى البداية عن طريق عوامل قادرة على الانتـــشار diffusible agents خاصـــة أن هـــذه الفطريات تزيل كربوهيدرات الخشب بدون إحداث أى تغير فى مادة اللجنين على عكس فطريات العفن الأبيض التى تزيل كل من اللجنين والكربوهيدرات معا أو تزيل مركبـــات اللجنين فقط .

واستكمالا لما سبق ذكره عن التلف الميكروبيولوجى يجدر الحـــديث بـــشئ مـــن التفصيل عن الكائنات الحية الدقيقة التى تصيب الأخشاب .

البكتريا Bactria

البكتريا التى تصيب الأخشاب Wood – inhabiting bacteria :

تعتبر البكتريا من أوائل الكائنات الحية الدقيقة التى تهـــاجم الأخـــشاب المعرضـــة للأجواء الرطبة أو الأخشاب المغمورة فى مياه البحار أو الميـــاه العذبـــة ، أو الأخـــشاب المطمورة فى التربة أو الأخشاب المعرضة لعمليات الجفاف والبلل الدورية .

وعلى الرغم من أن البكتريا لا تعتبر من عوامل التلف الأساسية للأخشاب مقارنة بالفطريات إلا أنه لا يمكن التغاضى عما تسببه من تلف للأخشاب ، خاصـــة الأخـــشاب المطمورة فى تربة رطبة أو المطمورة فى الماء والمعروف عن البكتريا أنها تهاجم الجدر الخلوية للخشب وتتلف الأغشية النقرية pit membranes وتثبت النيتروجين داخل الخـــشب كما أنها تستخدم المواد الغذائية الذائبة وتتفاعل مع الكائنات الأخرى المهاجمة للخـــشب وقد ذكرت دراسات عديدة أسماء أجناس البكتريا التى أمكن عزلها من الأخشاب المصابة وهى :

Alcaligenes, Bacillus, Brevibacterium, Cellulomonas, Cytophaga, Flavobacteium, pseudomonas, Sporocytophaga

ولم يثبت بعد إذا كانت هذه البكتريا السابق ذكرهـــا ذات دور أساســـى لتلـــف الخشب أم لا .

أ) البكتريا المكونة للأنفاق Tunneling bacteria :

يكون سطح الخشب المصاب بهذا الطرز من البكتريا لينا بنى اللون . وقد يـــصبح لون الخشب فى بعض الحالات مائل إلى الرمادى وذو ملمس وقوام دهـــنى – buttery like consistency ولازال تعريف هذا النوع من البكتريا غير مؤكدا ولكنها gram negative تتحرك ذاتيا بدون أسواط ، ومتعددة الأشكال pleomorphic ومنتجة لمواد مخاطية ، وتحلل الـــسيليولوز واللجـــنين ,cellululoytic ligocellulolytic وهـــذه الصفات البكتريا الـــ gliding bacteria .

وقد أتضح من خلال الفحوص أن البكتريا أحدية الخلية تحفر أنفاقا فى طبقى S1 و S2 وأن كل نفق يحتوى على خلية بكتيرية واحدة bacterium فى نهاية طرفـــه . وتبـــدأ عملية اختراق الجدار الخلوى عندما تلتصق الخلية البكتيرية بسطح طبقـــة S3 للجـــدار بواسطة مادة مخاطية extracellular (glycocalyx) capsular حيث تغطى هـــذه المادة الخلية البكتيرية حتى أثناء نشاطها فى الحفر . ويسمح التلف الإنحـــلالى لطبقـــة S3 للخلية البكتيرية أن تتعمق فى الجدار الخلوى للخشب ثم تكون المادة الغلافية capsular material أعلى مدخل النفق قبوى الشكل مكون من عدة طبقات . ويحدث الانقـــسام البكتيرى أسفل سطح طبقة S3 ثم تتكون الأنفاق عندما تتقدم البكتريـــا إلى كـــل مـــن منطقى S1 و S2 . والواضح أن تكوين الأنفاق داخل الجدر الخلوية للخشب ينتج عـــن قدرة البكتريا على تحلل السيليولوز celluloytic ability كما أثبتت الأبحاث الحديثـــة أن هذه البكتريا القدرة أيضا على تحلل اللجنين ligninolytic ability .

ويتسبب هذا النوع من البكتريا فى ليونة سطح الخشب المصاب وفقد نهائى لقوى الألياف فى مناطق الإصابة . وتكون طبقات السطح ذات ملمس أسفنجى ويسهل خدشها بأظافر اليد .

ب) البكتريا المكونة للتجاويف Cavitaion bacteria :

يحدث التلف بواسطة هذا الطرز من البكتريا التى يحتمل أن تكون أحادية الخلية وكروية ، داخل الجدار الخلوى فتتكون التجاويف cavilies ذات الزوايا أو على شكل معينى . ويكون محور هذه التجاويف غالبا عمودى على محور الخلية . تتحلل طبقة S2 فى الجدار الخلوى بشدة فتتكون فراغات كبيرة فى قصيبات الخشب الباكر ، وتتعرض طبقة S2 فى خلايا الخشب المتأخر لعملية تحلل أقل فتصبح ذات مظهر غير متبلور amorphous appearance . ولا يهاجم هذا الطرز من البكتريا كل من طبقة S3 والطبقات ذات الثآليل warty layers إلا أنهما قد ينهارا فى النهاية إذا كانت الإصابة شديدة .

جـ) البكتريا الناخرة Erosion bacteria :

تبدأ عمليات التلف فى الجدار الخلوى للخشب بواسطة هذا الطرز من البكتريا على سطح طبقة S3 يلى ذلك تكسير تدريجى للطبقات التالية حتى طبقة الصفيحة الوسطى . وقد ظهر هذا الطرز من الإصابة على الأخشاب الصلبة والأخشاب اللينة المعالجة وغير المعالجة الموجودة بيئات مختلفة تلتصق الخلية البكتيرية التابعة لهذا الطرز من البكتريا إلى أسطح الفراغات الخلوية لخلايا الخشب من خلال تكوين glycocalyx فتتكون مساحات كبيرة مغطاة بالبكتريا . وتفقد أسطح الفراغات للجدر الخلوية للخشب عند إصابتها بهذا الطرز من البكتريا مظهرها الأملس وتصبح غير منتظمة ومليئة

بالثقوب والنقر . إن قدرة هذا الطرز من البكتريا لتحلل المواد الخشبية الملجننة وتكسير اللجنين بمنطقة الصحيفة الوسطى من خلال نظام إنزيمى حر cnzyme system free هو أكبر دليل على أن هذا الطرز من البكتريا محلل للجنين ligninolytic .

الفطريات Fungi

تعرف الفطريات التى تتسبب فى تغير لون الخشب أو تشويهه بفطريات التبقع ، بينما تعرف الفطريات التى تنمو على سطح الخشب بالفطريات الصغيرة moulds وهذين الطرزين من الفطريات لا يتسببان فى تلف أو تحلل الخشب .

ويطلق مصطلح فطريات التبقع على عدد من الفطريات التى تصيب الخشب الحديث القطع أو الألواح المقطوعة ، أو قد يطلق على فطريات التبقع الأزرق التى تصيب الخشب المستخدم فى التعاشيق . كما أنه يطلق على بعض الفطريات غير المحللة للخشب والتى تصيب الخشب كجزء من التتابع الميكرونى فى التربة وفى الخشب المشبع بالماء .

تعرف كل من فطريات التبقع والفطريات الصغيرة التى تصيب الخشب بالفطريات الدقيقة microfungi ويتبع معظمها من الناحية التصنيفية الفطريات الأزقية Ascomycitina والفطريات الناقصة Deuteromycotina ، إلا أن بعض الفطريات تنتمى إلى فطريات الـZygomycotina أو تصنف تبع Mucorales .

وقد أتضح أن الفطريات الشعاعية Actinomycotina خاصة .Spp Streptomyces قادرة على تكوين مستعمرات فى الخشب المدفون فى التربة أو المغمور فى مياه البحار ، إلا أن الدراسات على مزارع وحيدة monocultural studies غير قادرة على إثبات حدوث عملية التكسير للجدر الخلوية .

أ) الفطريات الصغيرة Moulds :

تصيب الفطريات الصغيرة أسطح الأخشاب الحديث القطع أو القشرة الحديثة الصنع التى لم تجف تجفيفا كاملا أو فى حالة تكون الخشب من نسبة عالية من الخشب العصارى الفطريات ذات خطورة قليلة على الخشب بالمقارنة بفطريات التبقع أو الفطريات البازيدية المحللة للخشب والتى تهاجم الخشب بعد إذابته بالفطريات الصغيرة تبعا لنظام التتابع فى تكوين المستعمرات sequence colonization . إن التشويه الوحيد التى تتسبب فيه الفطريات الصغيرة هو تكوين كميات كبيرة من الجراثيم الملونة على سطح الخشب بينما تستخدم الخيوط الفطري الشفافة hyaline السكريات والنشا المتوافرة فى نسيج البرنشيمة السطحى . وقد تفرز بعض الفطريات الصغيرة بالإضافة إلى ذلك مواد ملونة ، وكمثال لذلك . Fusarium spp الذى يتسبب فى تلوين الخشب بلون وردى متدرج إلى البنفسجي . وتعتمد المتطلبات الغذائية للفطريات الصغيرة على السكريات والكربوهيدرات المختزنة فى الخشب .

ومن أمثلة الفطريات الصغيرة الأنواع الآتية وما تسببه من مظاهر إصابة :

تلون أسود	مستعمرات خضراء ومجموعات صغيرة من الجراثيم	تلن أخض أو وردى	تلون أصفر
Aspergillus	penicillium Trichoderma	Gliocladium	Paecilomyces

جدول رقم (   )

ب) فطريات التبقع Staining fungi :

- التبقع العصارى للخشب القطع Sapstain of freshly felled wood

إن لون الغزل الفطرى المميز لفطريات التبقع الكاملة لنمو هو اللون البنى ، ومـع زيادة نمو تلك الفطريات على الخشب يبدو لون الخشب أزرق مائلا للأسـوداد نتيجـة حيود الضوء . ويعتبر تلون الخشب بهذا اللون ناتج عن الغزو السريع للغزل الفطـرى فى الخلايا الشعاعية بعد انتقال العدوى إلى سطح الخشب . ويعقد أن عملية تفضيل الغـزل الفطرى للنمو فى البرنشيمة الشعاعية يرجع إلى وجود النشا والسكريات بوفرة فى هـذه الخلايا أكثر منها فى القصيبات الشعاعية ، حيث أن المصدر الرئيسى لغذاء هذا الطرز من الفطريات هو الكربوهيدرات والسكريات البسيطة والنشا التى توجد بـوفرة فى الخلايـا الشعاعية وفراغات الخلايا المحورية . وبالإضافة إلى ظاهرة تلون الخشب بـاللون الأزرق المائل للسواد ، يمكن رؤية بقع فطرية أخرى ذات ألوان أخرى ، إذ تفرز فطريات التبقع فى حالات كثيرة مواد ملونة خارج خلايا extracellular الخشبية ومـن أمثلـة هـذه الفطريات الآتى :

تبقع أخضر	تبقع أصفر	تبقع بنى
Chlorociboria (Chlorosplenium) Trichoderma	Cytospra	Thielaviopsis

جدول رقم ( )

وبالإضافة إلى ما سبق يتسبب الغزل الفطرى لفطريات التبقـع فى تعـرج الجـدر الخلوية مما يؤثر على نفاذية الخشب وبيئته الميكروبية . كما تسبب بعض هذه الفطريـات العفن اللين فى بعض الأخشاب إذا توفرت ظروف ملائمة .

- التبقع الأزرق :

يظهر هذا الطرز من التبقع فى الأخشاب التى تتعرض للرطوبـة بـصفة دوريـة . والمظهر المعتاد للبقع الزرقاء يكون على هيئة مساحات سوداء علـى سـطح الخـارجى للخشب هى تلك المناطق التى يوجد بها الغزل الفطرى والجراثيم . ومن أشهر فطريـات

التبقع الأزرق التى أمكن عزلها فطر Aureonasidium pullulans الذى ينمو بكثـــرة على المواد الغذائية السيليولوزية subatrates cellulosic ومن الفطريات الأخرى التى تـــسبب التبقـــع الأزرق .Cladosporium herbarum Alternaria tenuis Stempgylium verrucolosum .

وغالبا ما يخترق الغزل الفطرى الخشب أسفل السطح بعمق ميلليمتر واحد ، إلا أن نمو الفطريات وتكوين مستعمرات فى فراغات الخلايا الخشبية يتم بكثافـــة . وللخيـــوط الفطرية القدرة على النفاذ من الأسطح الخشبية إلى عمق أكبر من ٢,٥ ميلليمتـــر مـــن خلايا الأشعة الخشبية .

يمكن القول أن التبقع الفطرى فى الخشب أو نمو الفطريات الصغيرة على سطحه لا يتسببا بالضرورة فى إقلال قوى ثنى الخشب وضغطه ، إلا أنه قد يظهر نقص فى صلابته ، ويرجع هذا إلى أن هذه الفطريات لا تحلل سيليولوز الجدر الخلوية للخشب .

- التبقع غير الفطرى Non – fungal staining :

قد ينتج التبقه فى الخشب عن أسباب أخرى غير الإصابة أو التجوية الفيزيائيـــة (مثل الأشعة فوق البنفسجية ، والحرارة ، والبلل والجفاف) فقد تؤدى عمليات الأكسدة التى تتم على أسطح الخشب الحديث القطع للإنزيمات الموجودة فى عصارة الخـــشب إلى حدوث تغير لونى مؤقت فى بعض أنواع الخشب . وقد يحدث تبقع كيميائى فى الخـــشب نتيجة لأصاله بالحديد . وتزداد هذه الظاهرة بصفة خاصة فى أنواع الخشب المحتوية علـــى نسب عالية من التانين من حيث تتكون فى الظروف الرطبة تانات الحديـــد ذات اللـــون الأزرق المائل للسواد .

جـ) الفطريات المحللة Decay Fungi :

- فطريات العفن البنى Brown rot fungi :

وينتمى عدد كبير من الفطريات المسببة للعفن البنى إلى الفطريات البازيدية basidiomycetes وقد لوحظ أن بعض الفطريات المسببة للعفن اللين (Ascomycetes, Deuteromyceres) تتلف الخشب بحيث تتشابه أعراض تلفها من الناحية الميكروسكوبية مع أعراض تلف العفن البنى . وتمثل فطريات العفن البنى نسبة صغيرة من الفطريات البازيدية المحللة للأخشاب . وتنتمى معظم فطريات العفن البنى إلى أجناس من,polyporaceae, Dacrymycetales Coniophoraceae .

وقد تم العثور على خشب أثرى مصاب بفطريات العفن البنى فى عدد كبير من المواقع الأثرية بمصر . ومن المحتمل أن كل هذه المواقع قد تعرضت لارتفاع كبير فى درجة الرطوبة ، حيث أن ارتفاع الرطوبة شرط أساسى للوصول إلى هذا المستوى من الإصابة الفطرية . و يتضح من صور الحفائر أن أكثر الأجزاء إصابة فى الخشب هى تلك الأجزاء المتصلة بأرضية المقبرة أو جدرانها . ويحتمل أن النمو الفطرى حدث فور غلق المقبرة مباشرة عندما بدأ ارتفاع الرطوبة فى الأماكن السابق الإشارة إليها ، وعندما كانت propagulea فطريات العفن البنى الموجودة على الخشب قادرة على النمو . و وجود آثار لبعض الحشرات والنمل الأبيض termites يشيران إلى وجود احتمال أن الإصابة الحشرية انتقلت إلى الآثار الخشبية بواسطة الحشرات فى وقت لاحق لعمليات غلق المقبرة

تتلف فطريات العفن البنى المواد العديدة التسكر من خلال تكسير البوليمرات . وفى المراحل المتقدمة من التلف يتحلل كل من السيليولوز والهيميسيليولوز . أما تلف اللجنين فيكون محدودا ، حيث تصاحب عمليات تكسير المواد العديدة التسكر تغير بسيط للجنين من خلال demethylation للوحدات الفينولية وغير الفينولية .

مظهر الخشب المصاب بفطريات العفن البنى :

يصبح لون الخشب المصاب بفطريات العفن البنى بنى محمر يميل إلى اللون البنى القاتم ذو نسبة لجنين علية . وقد يكون الخشب لينا إلى عمق صغير فى حالة وجود رطوبة وفى المراحل المتأخرة من التحلل وعندما يكون الخشب جافا يظهر تشقق متقاطع وعميق فى الخشب أو تشققات طولية بسبب الانكماش الذى ينتج عن فقد كربوهيدرات الجدار الخلوى للخشب . ويتوقف حجم وعمق الشقوق على نوعى الخشب والفطر . أما الخيوط الفطرية الموجودة على السطح الخارجى للخشب المصاب بشدة فقد لا تكون واضحة للعين المجردة إلا أن بعض الأنواع ينتج عنها خصلات بارزة تحت ظروف رطوبة نسبية عالية وهواء ساخن فيظهر غزل فطرى وبرى fluffy .

وما يتبقى من الخشب المتحلل (غالبا لجنين متحول) يمكن تفتيته بأصابع اليد إلى بودرة ناعمة ، إذ أن الفطريات غير قادرة على تحليل اللجنين (هذا ما يميزها عن فطريات العفن الأبيض) .

تنمو الخيوط الفطرية للعفن البنى داخل فراغات الخلية الخشبية ، وعند بداية الإصابة تشغل الخيوط الفطرية الفردية single hyphae تقريبا كل الخلايا . وفى المراحل المتقدمة من التلف والتحلل قد تقل كمية الخيوط الفطرية lumen huphae بفراغات الخلايا نظرا لعملية التحلل الذاتى . تجتمع مستعمرات فطريات العفن البنى فى المسطحات الطولية للخشب من الخلايا الأشعة الخشبية ثم تنفذ الخيوط الفطرية إلى النظام المحورى للخشب . وتتلف صمامات النقر pit tori بسهولة ، إلا أن الخيوط الفطرية قد تنفذ أيضا من خلايا ثقوب bore holes تتكون كمنافذ عرضية مباشرة فى الجدار الخلوى للخشب بواسطة الخيوط الفطرية . وقد يزداد اتساع الثقوب بزيادة النمو الفطرى ، وعندما تشتد الإصابة يكون تلف الجدار الخلوى مرتبطا بوجود الخيوط الفطرية فى الفراغات وعلى أسطح الفراغات . تنهار الجدر الخلوية أثناء المراحل المتأخرة من التحلل

بواسطة فطريات العفن وتظهر فتحات ضيقة جـدا فى الجـدار بـالقرب مـن منطقـة الميكروفيبريل للطبقة S_2 . ويتبقى فى المراحل المتأخرة جدا من التحلل هيكل ليجنـينى ، كما يحدث فقد كبير فى تبلور السيليولوز . وهذه الظواهر ذات أهمية كبيرة لتـشخيص الإصابة .

يعتقد أن إزالة السيليولوز بطبقات الجدر الخلوية تتم بالتتابع التالى : S_2 ثم S_1 ثم S_3مما يؤكد أن لفطريات العفن البنى نظام معقد جدا فى تحلل طبقات الجدر الخلوية .

- **فطريات العفن الأبيض White rot fungi :**

العفن الأبيض صورة من تحلل الخشب الذى ينتج عنه عملية تبـيض الخـشب . وتستخدم هذه التسمية عادة لوصف المظهر الكلى للخشب المتحلـل . ولكـن علـى المستويان الميكرومورفولوجى والكيميائى يمكن التفرقة بـين العفـن الأبـيض التـابعى sequential white rot والعفن التلقائى simultaneous rot وفى بعض الحالات قـد يطلق على العفن الأبيض عفن الصدأ corrosion rotوالذى يميز فطريات العفن الأبيض عن الفطريات البازيدية المحللة للخشب (فطريات العن البنى) هو أن فطريـات العفـن الأبيض phenol – oxidases .

لفطريات العفن الأبيض قدرة فائقة على تحلل اللجنين ، بالإضافة إلى تحلل بعـض مكونات الجدار الخلوى للخشب . وتتحلل فطريات العفن الأبيض مع نوع العفن التلقائى كل بوليمرات البنية الأساسية للجدار الخلوى للخشب (لجنين هيميسيليولوز ، سيليولوز) فى وقت واحد وبنفس المعدل ،بينما تحلل بعـض فطريـات العفـن الأبـيض اللجـنين والهيميسيليولوز قبل مهاجمة السيليولوز الموجود فى الجدار الخلوى (يعرف هذا الطرز من الفطريات العفن الأبيض الاختيارى preferential white rot) .

على الرغم أن فطريات العفن الأبيض معظمها من الفطريات البازيدية ، إلا أن هناك فطريات أخرى قد تسبب العفن الأبيض ، كالفطريات الأزقية من أجناس Uatulina, Xylaria Daldinia, Hypoxylon, التى تسبب العنف الأبيض فى بعض الأخشاب الصلبة . وقد يظهر الجنسين Xylaria, Hypoxylon أعراض العفن اللين فى حالات أخرى .

مظهر الخشب بفطريات العفن الأبيض :

يأخذ الخشب المصاب بالعفن الأبيض لونا باهتا ، على الرغم من أن لون الخشب يكون قاتما وبه ظلال بنية اللون فى بدء الإصابة . وتتكون خطوط تحديدية نتيجة للتفاعلات المتبادلة كما تتكون أقسام compartmentalization للسلالات المختلفة لنفس نوع الفطر .لا تظهر بالأسطح المصابة بالعفن الأبيض التشققات المكعبية إلا أن الأسطح تكون لينة ويحدث الانكماش فى المراحل المتأخرة من التحلل بصيب العفن الأبيض فى بعض الحالات مناطق غير ظاهرة أو جيوب موجودة داخل الخشب ، فيطلق عليه عفن الجيوب الأبيض white pocket rot . وقد يصبح الخشب المصاب بالعفن الأبيض ذو مظهر ليفى بطول تعريق الخشب لانفصال الخشبية عند الصفائح الوسطى . وفى حالات أخرى قد يصبح الخشب المصاب لبى pulpy. ويوجه عام تكون الأخشاب الصلبة أكثر تعرضا للإصابة بفطريات العفن الأبيض عن الأخشاب اللينة .

تعتبر إصابة الخشب بفطر العفن الأبيض مثل فطر phanerochaete chrysosporium من النوع الاختيارى ، وينتج عنه أختفاء تدريجى للجنين الجدار الخلوى الثانوى للخشب بحيث يبدأ من السطح الداخلى للفراغ بالجدار الخلوى مارا بالطبقات S_3 ثم S_2 ثم S_1 . وفى النهاية تتلف الصفيحة الوسطى المركبة (جدار أولى

وصفيحة وسطى) ، فينتج عن ذلك انفصال ألياف الخشب . وبوجه عام يختلف تلف الصفيحة الوسطى من حيث شدته من نوع فطر إلى آخر

و أوضحت بعض الدراسات أن نسبة الفقد التدريجى للجنين من الفراغ الداخلى متجها لخارج الخلية تكون مرتبطة بوجود فطر Trametes (polyporus) versicolor ، بينما يكون الفقد المتدرج السريع للجنين بواسطة فطر phanerochaete chrysosporium . وترجح كل هذه الدراسات أن إزالة اللجنين تتم اختياريا قبل مهاجمة السيليولوز ، إلا أن هناك بعض الدراسات التى تشير إلى أنه يجب مهاجمة نسبة قليلة جدا من السيليولوز كى يمكن إزالة اللجنين بالتساوى . وبالفحص الدقيق أتضح أيضا أن الهيميسيليولوز يزال إما قبل إزالة اللجنين أو مع اللجنين ، ويمكن تفسير ذلك بأن استخدام الفطر للهيميسيليولوز هو الخطوة الأولى من تحلل اللجنين . وبذلك يكون تتابع مراحل التلف decay sequence هو :

مهاجمة الهيميسيليولوز ثم اللجنين والهيميسيليولوز .

- فطريات العفن اللين Soft rot fungi :

تأتى تسمية العفن اللين من وصفها لما يصيب سطح الخشب من ليونة بسبب مهاجمة وتحلل الفطريات للجنين الخشب (فطريات أزقية وفطريات ناقصة) . ويظهر العفن اللين عندما تكون ظروف النمو والنشاط للفطريات البازيدية (وهى أكثر نشاطا من الفطريات الأخرى) غير متوفرة أو غير ملائمة مثال ذلك ارتفاع الرطوبة ، وانخفاض التهوية ، و وجود مبيدات . والعوامل المشجعة لنمو فطريات العفن اللين هى :

١- ارتفاع درجة الحرارة

٢- زيادة تركيز النيتروجين الذائب

وأتضح حديثا أن هذا الفطر قد ينمو فى الأخشاب ذات محتوى مائى منخفض أو إذا تواجد الخشب فى بيئة ذات أمن هيدروجينى مرتفع . وفى هذه الظروف غير العادية

تهاجم فطريات العفن اللين الخشب تدريجيا ، مسببة بذلك تلف الخشب كلما توفر الحد الأدنى من ظروف النمو . ويكون كم التحلل واضحا كلما زادت فترة الإصابة (قد تصل إلى ٢٥٠٠ عام ، مثلما حدث فى بعض أخشاب الأرز والعرعر ، وهى أخشاب مقاومة للفطريات ، والتى تم العثور عليها فى تركيا).

من الناحية التصنيفية ، نجد أن الفطريات المسببة للعفن اللين من الفطريات الأزقية و الفطريات الناقصة ، على الرغم أن بعض الباحثين ذكروا أن فراغات الجدار الخلوى الناتجة عن فطريات العفن اللين تنتج عن الفطريات البازيدية التى تنتمى إلى فطريات العفن البنى أو فطريات العفن الأبيض . ومن المقترح أن يكون تكوين الفراغات cavities من المظاهر الأساسية للعفن اللين . وهى نفس الأغراض الرئيسية للتحلل بواسطة الفطريات المحللة للسيليولوز .

ويمكن تعريف أو تشخيص إصابة الفطريات اللينة للخشب من خلال تواجد الفراغات الطولية فى طبقات الجدار الثانوى للخلية الخشبية . وفى القطاعات العرضية تظهر تلك الفراغات على هيئة ثقوب مستديرة فى الجدار الخلوى . وقد ظهر هذا النوع من الإصابة فى العديد من الآثار الخشبية التى عثر عليها فى مصر القديمة . وعند فحص تلك الأخشاب ظهر عدد كبير من الثقوب مع وجود بقايا غزل فطرى فى الفراغات . ويمكن التعرف على مرحلة الإصابة من خلال عدد الثقوب وأقطارها . فإذا كان عدد الثقوب قليل وأقطار الثقب صغيرة دل ذلك على أن الإصابة مراحلها الأولى . وكلما زاد عدد الثقوب دل ذلك على تطور مرحلة الإصابة . وفى بعض الحالات قد تلتصق الثقوب بعضها لتكون فراغات كبيرة . ونادرا ما تنهتك الصفيحة الوسطى .

وعندما تكون الإصابة فى مراحلها المتقدمة تفقد الخلية قوتها integrity ويصبح الخشب ضعيف جدا ويفقد كل خواصه الميكانيكية Strength properties .

مظهر الخشب بفطريات العفن اللين :

الخشب المبتل المصاب يكون لينا ويشبه فى ملمسه الجبن ، إلا أن لونه يكون قاتما . والإصابة تكون سطحية ، لذلك يكون الخشب الموجود أسفل السطح المصاب سـليما . عند تجفيف الخشب تظهر تشققات دقيقة جدا بطول الخشب وعرضه . وعلى الـرغم أن لون الخشب المصاب بالعفن اللين يشبه لون الخشب المصاب بالعفن البنى ، إلا أن الشقوق تكون أكثر وضوحا فى العفن اللين وأقل عمقا نظرا لطبيعة الإصابة السطحية بالإضافة إلى ذلك يكون التآكل السطحى أكثر وضوحا فى أنواع الخشب ذات الكثافة المتنوعة خاصة عند الحلقات السنوية ، مثال ذلك الأخشاب اللينة والأخشاب الصلبة المسامية الحلقيـة ring porous . ومن أفضل الأمثلة لذلك خشب الصنوبر المجفف والمصاب بالعفن اللين ، حيث ينكمش الخشب الباكر أو يتآكل ويبدو سطح الخشب متعرجا . وعنـد فحـص شرائح من الخشب المصاب بالعفن اللين أتضح وجود عدة أعراض من التلـف ، منـها تكوين فراغات فى طبقة S_2 ، وحدوث تآكل فى أسطح فراغات الخلايا الخـشبية ونفـاذ الفطريات خلال الجدر الخلوية للخشب .

تبدأ الإصابة فى كل أنواع الخشب بواسطة فطريات العفن اللين من خلال أشـعة الخشب بالإضافة إلى ذلك قد تحدث الإصابة أيضا من خـلال الأوعيـة فى الأخـشاب الصلبة. وتصلح البرنشيمة المحورية أيضا كبداية لتكوين مستعمرة فطرية . وفور دخـول الفطر إلى الخشب تتكون المستعمرة فى فراغات القصيبة المحورية فى الخشب اللين ثم تنتشر الخيوط الفطرية من قصيبة إلى قصيبة عن طريف passive penetration وعند الفحص الميكروسكوبى للعينات الخشبية المتحللة بالعفن اللين تبدو الفراغات على شكل سلاسـل منتظمة من الفراغات المعينية الشكل أو ذات شكل أسطوانى مخروطى الأطراف .

سادسا : تلف الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطمورة فى تربة رطبة

لما كانت الأخشاب المشبعة بالماء خارج نطاق هذه الدراسة ، لذلك سوف يتم الإشارة إلى عوامل ومظاهر تلفها باختصار .

تتعرض الأخشاب المغمورة فى تربة رطبة أو المغمورة فى الماء للتلف الشديد بسبب العديد من العوامل البيولوجية والكيميائية . وقد تحتفظ هذه الأخشاب بشكلها وحجمها العام ولكنها تتعرض لتغيرات فى تركيبها وخواصها الكيميائية والفيزيائية والتشريحية ، وينتج عن ذلك فقدانها لخاصيتى القوة والمتانة . وفى حالة وجود الأخشاب فى تربة رملية رطبة جيدة التهوية فإن ذلك يؤدى إلى الإصابة بالفطريات التى تسبب التلف التام بحيث لا يبقى من الخشب إلا أثره فقط مطبوعا على الرمال نتيجة التحلل البيولوجى الذى يصيب الخشب .

أما فى حالة انخفاض الرطوبة فى التربة ، لا تمر الآثار العضوية المدفونة بداخلها بمراحل تلف . وفى حالة شدة جفاف الهواء داخل فراغات التربة ، قد ينتج عن ذلك تشقق الآثار فقط . أما إذا كان الوسط المحيط ذو نسبة رطوبة مرتفعة ، فتكون الآثار العضوية بداخل تلك التربة معرضة للإصابة بالكائنات الحية الدقيقة . وبعد غمر الأخشاب لفترات طويلة فى الماء يختفى السيليولوز تدريجيا دون انهيار الخشب ، ذلك لأن الهيكل اللجنينى المتبقى يحفظ بالماء الذى يحل محل السيليولوز ، فيتحول الخشب إلى " خشب مشبع بالماء " waterlogged wood ولكنه يحتفظ بشكله وتفاصيله طوال فترة الغمر .

تظهر تغيرات بنائية فى الخشب بعد غمره فى الماء لفترات طويلة . فالعوامل الكيميائية والفيزيائية تغير من مادة الخشب ، بالإضافة إلى ذلك تؤثر الفطريات الكائنات الحية الدقيقة على الخشب ويمكن تحديد نوع ومدى التلف أو التحلل من خلال :

١- التكوين الأولى للخشب وتركيبه ، أى نوع الخشب وتاريخ نموه ، ومن التركيب الكيميائى الذى قد يتضمن مركبات (مثل metabolites, extractives) قد دخلت إلى الفراغات الخلوية والمسافات بين الخلوية .

٢- الظروف المحيطة مثل الوسط ، الرطوبة ، الحرارة ، التهوية ، الأس الهيدروجينى ، الخ فالظروف المحيطة بالأثر المغمور فى الماء أو المطمور فى التربة ، مثل الوسط ،هى التى تحدد أنواع الكائنات الحية الدقيقة المحللة للخشب ن ففى الماء أو داخل تربة تقل فيها نسبة الأكسجين تهاجم الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية الخشب . ويكون ضررها أكثر من ضرر العوامل الكيميائية (الذى يؤكد هذا أن بعض الأخشاب التى تحتوى على راتنجات طاردة للكائنات الحية الدقيقة inhibiting resinous cxtractives rot – تقاوم التلف بدرجة كبيرة تحت ظروف قاسية ، بينما تظهر الأخشاب المخروطية الأوروبية الغنية بالراتنجات مقاومة أقل حتى لو تعرضت لظروف أقل شدة)

ومن العوامل الأخرى التى تلعب دورا فى مدى تلف الخشب المشبع بالماء هى إصابة الخشب بالفطريات اللاهوائية أثناء وجوده فى الهواء (أو أثناء استخدامه) وقبل عمره بالإضافة إلى ذلك فإن طول فترة الغمر من العوامل المؤثرة فى تحديد درجة التلف .

ويمكن تخليص خطوات التلف الميكروبيولوجى للأخشاب المغمورة فى الماء كما يلى:

تذوب كل مركبات الخشب القابلة للذوبان نتيجة التميؤ فتختفى فى الوسط المحيط . وتتميأ أولا مركبات الهيميسيليولوز غير الثابتة pectins, oentosans أما مركبات الهيميسيليولوز الأكثر ثباتا مثل galactones, polyuronides تهاجم فقط بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة المتخصصة ويتحلل السيليولوز فى نفس الوقت ، ويتبقى اللجنين فى النهاية . وقد ثبت حديثا أن اللجنين أيضا قد يتحلل لا هوائيا .

والتغيرات الكيميائية الناتجة عن الكائنات الحية الدقيقة فى الخشب مميزة لكل نـــوع كائن حى دقيق ويمكن التعرف على نوع الإصابة من خلال الــ metabolites ، إلا أنه بطول فترة الغمر قد تختفى كل نواتج التلف .

ويوجد شكلين لتحلل الجدر الخلوية ، وهى العناصر البنائية التى توفر للخشب قوته الميكانيكية الشكل الأول للتلف يبدأ من داخل الخلية من الــ tertiary wall ثم يتجـــه خارجيا وما يتبقى من الخشب فى هذه الحالة يكون قليل . لذلك ينكمش الخشب بـــشده عند جفافه ، وبالتالى يتغير شكله . وهذا الخشب لا يتحمل نفاذ المحاليل بداخله .

أما الشكل الثانى من التلف فيبدأ فى الأجزاء المحيطة للجدار الثانوى peripheral parts of the secondary wall ، ثم ينتقل ، بعد تحلل الصفيحة الوسطى ، إلى الخلية المجاورة ، مؤديا بذلك إلى إذابة الروابط الخلوية cell bonding . وفى هذه الحالة يفقد الخشب بنيته التشريحية ويتفتت تماما بعد جفافه . وبوجه عام لا ينتشر هذا الـــشكل من التحلل فى الخشب كله ، بل يظهر فى بعض المناطق فقط.

ويفسر Hoffmann & Jones تلف الأخشاب المشبعة بالماء كما يلى :

يتسبب انتفاش الجدار الخلوى الثانوى للأخـــشاب الـــصلبة فى تفكـــك البنيـــة الليجنوسيليولوزية المركبة ويبدأ التحلل المائى للهيميسيليولوز . وقد تنتشر هذه المراحـــل بسرعة فى الخشب أو تتم بصورة منتظمة فى كل أجزائه . يلى ذلك مهاجمة السيليولوز فى الطبقات الداخلية للجدار الخلوى الثانوى (S_3 , S_2) إما من وجهة الفراغ الخلـــوى أو من جهة المنطقة الحدودية $S_1 - S_2$ بذلك يتكسر الهيكـــل المتبلـــور وتـــذوب سلاســـل الجزيئات ، ثم يتلف الهيكل اللجنينى المتبقى ليحول إلى حبيبات دقيقة قد تنكمش وتنفصل عن الطبقة S_1 الملتصقة بالصفيحة الوسطى . تتحلل بعد ذلك الطبقة S_1 الرقيقة فتبقـــى الصفيحة الوسطى فقط .

وبوجه عام يبدأ الجدار الخلوى الثانوى للخشب من السطح الخارجى متجهـا تدريجيا إلى الداخل وتستمر عمليات التلف حتى مراحلها النهائية فى كل خلية على حده . وفى حالات كثيرة قد تتجاور خلايا سليمة مع خلايا مرت بمراحل التحلل .

وتوجد اختلافات طفيفة فى مقاومة التحلل بين أنـواع الخلايـا ، ولكـن هـذه الاختلافات ليست موحدة فى عناصر الخشب المختلفة . ففى بعض الحالات تكون الأوعية والخلايا البرنشيمية أكثر مقاومة عن الألياف و فى حالات أخرى قد تكون أقل . بالإضافة إلى ذلك يكون توزيع أنواع الكربوهيدرات واللجنين مختلفا فى طبقات الجـدار الخلـوى وأنواع الخلايا . و بوجه عام لوحظ أن وحدات P – hydroxyl & vanillyl lignin البنائية هى أكثر الوحدات مقاومة للتلف ، يلى ذلـك وحـدات syringyl lignin ثم البكتين ، ثم ألفا سيليولوز وأخيرا الهيميسيليولوز .

ويمكن تلخيص التغيرات التى تطرأ على الأخشاب المشبعة بالماء فيما يلى :

١ – تغيرات فيزيائية وميكانيكية :

كالتغير فى اللون والمظهر والمتانة ، حيث تبدو هذه الأخشاب بنية داكنة وأحيانـا سوداء اللون . وتكون لينة هش كالإسفنج المملؤ بالماء ، وعند عصر هـذه الأخـشاب تخرج منها كميات كبيرة من المياه وتبدو كالإسفنج المعصور ، حيث تقل كثافتها وتزيـد مساميتها .

٢ – التغيرات الكيميائية :

وهى تشمل إذابة المواد الرابطة داخل لخشب مثل السكريات والنشويات والمـواد الملونة ، وتحلل جزئ للسيليولوز إلى سكريات قابلة للذوبان فى الماء ومنتجـات غازيـة وكربونية ، وتحلل مائى للجنين .

٣- تغيرات فى التركيب الخلوى :

وهى تشمل :

- تآكل فى جدران الخلايا وفقدان للخواص الخشبية .
- تكون مواد طينية لزجة فى نسيج الخشب مع تراكم مواد تشبه الصمغ على جدران الخلايا من الداخل .
- تبدو جدر خلايا الخشب أقل كثيرا فى السمك عنه فى حالة الخشب السليم .
- هناك حالات يلاحظ فيها احتفاظ الخشب بشكله ظاهرا ، مع وجود التحلل فى الداخل

وتعتمد سرعة تلف الخشب المشبع بالماء على ظروف الدفن ، والطبيعة الكيميائية للتربة ، ونوع الخشب ، ذلك أن أنواع الخشب تختلف فى البنية التشريحية ، والنفاذية والتركيب الكيمائى

المواد المستخدمة فى علاج وصيانة الأخشاب الأثرية

يوجد كثير من المواد التى يمكن استخدامها فى تقوية وترميم الأخشاب الهشة والضعيفة بصفة عامة بما فيها الأخشاب المستخرجة من الماء أو من التربة . وتختلف هذه المواد فى تركيبها وخواصها الفيزيائية والكيميائية . وقد تتشابه فى بعض هذه الخواص كما تختلف فى مميزاتها وعيوبها من حيث مدى وأسلوب تأثيرها على الأخشاب المعالجة ودرجة تفاعلها وتأثرها بالمواد والظرف المحيطة بهذه الآثار مستقبلا ولابد من توافر شروط كثيرة لهذه المواد حتى يمكن استخدامها بأمان ويمكن أيضا الحصول على أفضل النتائج وأهم هذه الشروط هى :

١- أن تكون ذات درجة نفاذية عالية داخل الخشب ، وتحل محل الماء الموجود داخل الخلايا ، دون أن يتسبب عن استخدامها انكماش أو تقلص فى أبعاد الخشب بعد تبخر المذيب أو تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة .

٢- أن تتميز مادة المعالجة بتأثير كبير فى تقوية جدران خلايا الخشب للدرجة المطلوبة مما يؤدى إلى تماسك جيد للخشب المعالج .

٣- ألا يتغير لونها أو تسبب تغير لون الخشب المعالج بمرور الزمن .

٤- أن تتميز بالثبات ، أى لا يحدث بها تغيرات كيميائية أو تفقد الخواص المميزة لها بمرور الزمن .

٥- ألا تميل إلى تكوين فيلم على سطح الخشب وخاصة عند استخدامها للتقوية بالتشرب مما يعكس ضعف نفاذها فى عمق الخشب .

٦- ألا تسبب لمعانا لسطح الخشب المعالج .

٧- ألا تتفاعل مع مكونات مادة الخشب .

٨- أن تكون مرنة إلى حد ما حتى لا تزيد من صلابة الخشب بشكل ضار .

٩- أن تكون عكسية الاستخدام ، أى يمكن إزالتها من الخشب عند الحاجة لـذلك دون حدوث أى ضرر للخشب المعالج .

١٠- ألا تكون قابلة للاشتعال .

١١- أن تتميز بسهولة استخدامها بطرق مختلفة وبتجهيزات بسيطة ومتوفرة .

١٢- ألا تكون لها رائحة باقية غير مستحبة .

١٣- ألا تمثل غذاء للحشرات أو الفطريات .

١٤- ألا تنصهر عند درجات حرارة الجو المرتفعة .

١٥- ألا تتأثر بالرطوبة ، وفى نفس الوقت تعطى حماية للأثر ضد الرطوبة .

وحتى الآن لم يتم الحصول على مادة يمكن أن تتوافر فيها كل الشروط السابق ذكرها ، ولذلك فإن اختيار المواد المستخدمة فى العلاج والترميم والصيانة يتوقف على حالة الأثر وأنسب المواد التى يمكن أن تعطى أفضل النتائج تبعا لنوع ودرجة التلف التى يعانى منها الأثر وتتوفر فيها معظم الشروط السابق ذكرها وقد تستخدم أكثر من مادة أحيانا للحصول على النتيجة المطلوبة .

وتستخدم هذه المواد فى التقوية أو التثبيت أو اللصق أو كطلاء واق أو كمادة مالئة ، وبعض هذه المواد يمكن أن تستخدم فى أكثر من غرض من هذه الأغراض .

وتنقسم هذه المواد إلى قسمين رئيسيين هما :

– مواد طبيعية – مواد صناعية .

أولاً المواد الطبيعية :

وهى مواد يتم استخلاصها من النباتات أو الحشرات أو الحيوانات أو من خامات معدنية طبيعية . ومن أهم هذه المواد ما يلى :

(١) الشموع : Waxes

وهى تتكون من خليط من المكونات المختلفة وأهمها :

١- أسترات للأحماض الدهنية مع كحولات تحتوى جزيئاتها على عدد من ذرات الكربون

٢- أحماض دهنية حرة .

٣- كحولات حرة تحتوى جزيئاتها على عدد كبير من ذرات الكربون .

٤- هيدروكربونات .

وتنقسم الشموع حسب مصدرها إلى :

شموع حيوانية	شموع نباتية	شموع من الحشرات
شموع من القار	شموع معدنية	

وللشموع بعض المميزات أو الخواص التى أدت إلى استخدمها فى علاج وترميم وصيانة الآثار وأهم هذه الخواص :

١- أنها ثابتة أو خاملة كيميائيا، وتمثل وقاية ضد الحشرات والفطريات.

٢- لها خاصية الحماية ضد الرطوبة (لا تتأثر بالرطوبة) .

٣- ليس لها تأثير المذيبات على طبقة الطلاء.

٤- لا يتغير حجمها عند التبريد .

وعلى الرغم من هذه المميزات فإن للشموع أيضا بعض العيوب التى تقلل من استخدامها فى كثير من الأحيان منها :

١- تسبب تغير لون الخشب (غمقان اللون) لأن معامل الانكسار الضوئى للشمع أكبر بكثير من معامل انكسار الهواء .

٢- جذب الأتربة وتراكمها على أسطح الأخشاب المقواة نتيجة لتسرب الشمع من داخل الأخشاب إذا تعرضت لزيادة فى درجة الحرارة .

وعادة تستخدم الشموع بعد خلطها مع أحد الراتجات التطبيعية مثل القلقونية أو الدامار أو الماستيك أو الألم إما كطبقة طلاء واقية مثل مخلوط من شمع النحل والألم بنسبة

١ : ٤ ، أو لتقوية الأخشاب بالتشرب مثل ٥٠ % شمع نحل مع ٤٠ % شمع برافين و ١٠ % ألم عند درجة حرارة ٧٩°م ، أو مخلوط من الشمع والقلقونية بنسبة ٥٠ % لكل منهما عند درجة حرارة ١٢٠°م كما يستخدم الشمع مضافا إليه بودرة الـ د . د . ت (D. D . T) أو الجامكسان لسد الثقوب الناتجة عن الحشرات الثاقبة للأخشاب.

ويمكن تقسيم الشموع الطبيعة إلى نوعين رئيسين هما:

(أ) شموع طبيعية غير بترولية.

(ب) شموع بترولية أو برافينية .

أ – شموع طبيعية (غير بترولية):

وأهمها شمع النحل وشمع الكرنوبا وشمع اللانولين ، وهى تتركب من استرات رمزها الكيميائى R . COOR وفيها كل من $\bar{R}$, R سلاسل جزيئية طويلة حيث يحتوى كل منهما على عدد من ذرات الكربون يتراوح بين ١٦ ، ٣٠ ذرة.

١- شمع النحل : Bees Wax

يتم إنتاجه بواسطة بعض أنواع النحل وأهمها النوع المعروف باسم Apis Mellifica والنوع المعروف باسم Apis Dorsata ولونه الطبيعى أصفر ، ولكن يمكن تبيضه بالتسخين مع الفحم النباتى أو الحيوانى أو بوضعه فى ضوء الشمس أو بمعالجته بفوق أكسيد الهيدروجين . ويتركب شمه النحل بصفة أساسية من بالميتات الميرسيل حوالى ٧٢ % "

" C_{12} H_{13} $CooC_{30}$ H_{61} (Palmitate Myricyl) كما يحتوى على نسبة تتراوح بين ١٢ % – ١٢,٥ % من الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئى العالى ، ونسب صغيرة من الكحولات والأحماض الدهنية الطليقة . ويذوب شمع النحل بسرعة فى الأثير والكلوروفورم ورابع كلوريد الكربون وزيت التربنتينا النباتى ، ويذوب جزيئا فى البنزين

البارد وبيكبريتيد الكربون وزيت التربنتينا المعدنى ، وقليل الذوبان فى الكحـــول البـــارد وتتراوح درجة انصهار ما بين ٦٣ — ٦٦ م ، وكثافته النوعيـــة مـــن ٩٦٢ — ٩٦٦ ، ودرجة أو ثابت التصبن من ٨٨ — ١٠٣ ، والقيمة اليوديـــة مـــن ٧ — ١٤ والـــرقم الحامضى ١٧ ، ومعامل الانكسار ١,٤٤ .

٢- شمع الكرنوبا : Carnouba Wax

يستخرج هذا الشمع من نوع من أنواع أشجار النخيل فى البرازيل يعرف باســـم Carifera Corypha وهو يكون طبقات على الأوراق ليحميها من تـــسرب مياههـــا بالبخر ، وقد يصل سمك طبقة الشمع حوالى ٥ مم . ويتم الحصول على الـــشمع بقطـــع الأوراق الحديثة وتجفيفها ، ثم يكشط الشمع من فوق سطحها ويصهر فى ماء مغلى . وهو صلب أصفر اللون ، ويتم تبيضه باستعمال الفحم النباتى . ويتكون شمع الكرنوبـــا مـــن سيروتات الميرسيل حوالى ٨٠ — ٨١ % Myricyl ($C_{25} - H_{51} - CooC_{30} - H_{61}$ Cerotate) كما يحتوى أيضا على نسب صغيرة من الهيدروكربونات العالية والأحمـــاض الدهنية الطليقة والكحولات العالية .

وشمع الكربونا قليل الذوبان فى المذيبات العضوية فى درجة حرارة الغرفة (درجـــة الحرارة العادية) ، ولكنه يذوب بسرعة فى هذه المذيبات فى درجة حرارة أعلى من ٤٥°م ، وتتراوح درجة انصهار من ٧٨ — ٨٤°م ، وكثافته النوعية حوالى ١ ، ودرج أو ثابت التصبن من ٧٩ — ٩٥ ، والقيمة اليدوية من ٧ — ١٤ ، والرقم الحامضى من ٤ — ٧ ، ومعامل الانكسار ١,٤٧٢ .

ونظرا لصلابة هذا الشمع وارتفاع درجة انصهاره فإنه يعطى سطحا لامعا صـــلدا عندما يدلك ، لذلك فهو يصلح كورنيش بعد إذابته فى زيت التربنتينا النباتى ، وقد يخلط بأنواع أخرى من الشمع .

٣- شمع اللانولين Lanolin Wax

وهو عبارة عن المادة الدهنية أو الشمعية التى تستخرج من جزة (صوف) الغنم ، وينتمى إلى الشموع أكثر منه إلى الدهون لأنه يتكون فى معظمه من إسترات الكحولات ذات الوزن الجزيئى العالى مثل الكوليستيروا Cholesterol ($C_{27} - H_{45} - OH$) مع أحماض دهنية تتراوح بين حمض البالبريك ($C_4\ H_9\ CooH$) إلى حمض البولميتيك ($C_{15}\ H_{31}\ CooH$) وهو يكون مع الماء مستحلبا ثابتا بدرجة كبيرة ، ويمكن أن يختلط بنسب تصل إلى ٨٠ % من وزنه من الماء ومستحلب اللانولين الشائع يحتوى على ٢٥ % من وزنه من الماء ،ويستخدم كثيرا فى علاج الجلود ولوقاية الحديد من الصدأ .

وشمع اللانولين أصفر اللون ، نصف شفاف ، عديم الرائحة تقريبا ، ويذوب بسهولة فى الاثيروالكلوروفورم ، كما أنه يذوب جزئيا فى الكحول . وتتراوح درجة انصهار ما بين ٣٤ - ٤٠°م ،ودرجة أو ثابت التصبن من ٩٤ - ١٠٦ ، والقيمة اليودية من ١٨ - ٣٢ ، والرقم الحامضى لا يزيد عن ١ ، ومعامل الانكسار ١,٤٧٨ .

(ب) الشموع البترولية أو البرافينية : Paraffin Waxes

عند تقطير البترول تقطيرا جزئيا تجمع سوائل مختلفة : أولها الإثير البترولى ثم الجازولين أو بنزين العربات ثم زين التربنتينا المعدنى ثم الكيروسين ثم زيت البرافين ثم زيوت التشحيم المتوسطة والثقيلة ويتبقى بعد ذلك الأسفلت وعندما يبرد زيت التشحيم الثقيل ينفصل عنه الفازلين وشمع البرافين .

ويتركز شمع البرافين من الهيدروكربونات المشبعة العالية ابتداء من H46 C17 حتى H142 C70 ولذلك تتراوح درجة انصهاره بين ٣٥ ، ٧٢° م وتوجد أنواع مختلفة من شمع البرافين مقسمة طبقا لدرجة انصهارها ومسماة طبقا لذلك أيضا مثل : شمع ٣٨ -

٥٠° م ، وشمع ٥٠ – ٥٢° م ، حتى ٦٠ – ٦٢° م وكلما ارتفعت درجة الانصهار كلما زادت صلابة الشمع وزادت كثافته وأصبح أقل تبلورا . وشمع البرافين لونه أبيض نصف شفاف قابل للذوبان فى البنزين والكيروسين وغيرها من المذيبات العضوية .

٢- الراتنجات : Resins

هى مواد غير متبلورة ، تكون إما صلبة هشة أو لينة نصف صلبة ، ولا تذوب فى الماء ، وإنما تذوب إلى حد ما فى الكحول أو الاثير أو الكلوروفورم أو الاسيتون أو الزيوت الثابتة أو العطرية ، وتلين الراتنجات بالحرارة ، وتحترق فى الهواء مكونة لهبا مدخنا ، وتكون غير ملونة تقريبا أو برتقالية أو حمراء أو بنية أو سوداء اللون ، وكثير منها يصبح لونها داكنا ويقل مقدار ذوبانها إذا خزنت لفترة طويلة . والراتنجات مواد معقدة التركيب تتألف من خليط من المواد مثل الأحماض العضوية والاسترات والجلوكوزيدات ، ولا يدخل فى تركيبها الأزوت ، وعندما تغلى مع القلويات يتكون عنها صابون راتنجى .

ومعظم الراتنجات تنتج داخلها من خلال إفرازية تمثل جزءا من النسيج الداخلى لبعض الأشجار ، وتتجمع الراتنجات المفرزة فى تجاويف ، فإذا كانت هذه التجاويف متساوية الأقطار ومحاطة بطبقة من خلايا مفرزة للراتنج فإنها تسمى بالغدد الراتنجية Resin glands كما فى القرنفل العطرى أما إذا كانت التجاويف على شكل قنوات محاطة بخلايا إفرازية فإنها تسمى بالقنوات الراتنجية Resin Ducts كما فى خشب وأوراق الصنوبر وبالإضافة إلى الغدد والقنوات الراتنجية فإن الراتنجات قد توجد أحيانا فى جميع خلايا النسيج ، مثل خشب عود الأنبياء حيث تكون خلايا وأوعية الخشب الصميمى ممتلئة بالراتنج . والراتنج المفرز يكون فى صورة سائلة نظرا لامتزاجه ببعض المواد التى تفرز معه مثل الزيوت العطرية والتربينات والأسترات .

وتنتج الراتنجات من أشجار الحية ، ولكن بعضها مثل الكوبال Copal ينتج مـــن أشجار ماتت منذ فترة طويلة ، والبعض الآخر مثل العنبر amber يـنـتـج مـــن النبـــات معروف فقط كحفريات Fossils .

ويتم الحصول على الراتنجات بصفة عامة عن طريق جرح الأشجار واســتقبال أو تجميع الراتنج السائل فى إناء ويلاحظ تغير الراتنج الذى تم تجميعــه تــدريجيا فى القــوام والصلابة واللون عن حالته الطبيعية عند استخلاصه من الأشجار .

وتختلف الراتنجات الطبيعية فى تركيبها الكيميائى اختلافا كبيرا من نوع لآخـــر ، ولكن المكونات الرئيسيا لها بصفة عامة هى :

١- أحماض عطرية Aromatic acids

٢- أحماض اليفاتية Aliphatic acids

٣- المكونات الكحولية Resinols and Resino – tannols

٤- أحماض راتنجية (المكونات الحامضية) Resin aci

٥- الزيوت الأساسية Essential oils

ومن المميزات التى جعلت لهذه الراتنجات أهمية كبيرة فى الصناعة ، كما شـــجعت على استخدام فى مجال علاج وصيانة الآثار ، أنها لا تذوب فى الماء وإنما تذوب فى المذيبات العضوية ثم تجف مكونة طبقة صلبة غير منفذة للماء . ولذلك تستخدم هذه الراتنجات فى صناعة الورنيشات ، حيث يذات الراتنج أو مخلوط من الراتنجـــات فى أحـــد المـــذيبات العضوية ومن أهم الرتنجات الطبيعية المستخدمة فى مجال علاج وترميم وصيانة الآثار مـــا يلى :

١- القلفونية (الروزين) (Colophony (Rosin

وهى عبارة عن بقايا تقطير الراتنج الزيتى الخام الذى يتم الحصول عليه من أشجار الصنوبر المختلفة .

وتتكون من مزيج من الأحماض العضوية أهمها حمـض الأبيتيـك ($C_{44} H_{64} O_5$) Abletic acid والقلفونية عبارة عن قطع غير منتظمة الشكل ومختلفة الحجم ، شـفافة ولونها أصفر باهت أو أصفر يميل إلى البنى ، هشة ، وذات رائحة تربنتينية خفيفة وطعمها مر إلى حد ما وتذوب فى الكحول والاثير والكلوروفورم والاسيتون وحمض الخليـك ولا تذوب فى الماء وتتراوح درجة انصهارها بين ٧ – ٨٠° م كما تتراوح كثافتها بين ١,٠٧ – ١,٠٨ وتستخدم القلفونية فى علاج وترميم الأخشاب المختلفة بعد خلطهـا بـبعض الراتنجات والشموع الطبيعية الأخرى بنسب مختلفة تبعا لحالة الأثر المعالج ، كما تستخدم فى صناعة الورنيشات وغيرها . ولكن من عيوبها أنها ذات درجة حموضة عاليـة حيـث تتراوح قيمتها الحامضية بين ١٦٥ – ١٧٥ كما أن استخدامها كورنيش له عيوب كثيرة منها : اللون الشاحب ، والبريق اللامع عند التطبيق حديثا والذى يختفى بعد ذلك سريعا بالتعرض للجو، كما أن طبقة الفيلم المتكونة تصبح بيضاء بصورة دائمة بسبب تأثير الماء.

٢– الدامار : Dammar

يتم استخراجه من أنواع متعددة من أشجار Dipterocarpaceae التى تنمـو فى ولاية مالاى وشرق الهند . ويتم الحصول عليه بسهولة فى حالة طرية لزجة عنـد جـرح الأشجار ، حيث يكون ذا رائحة عطرية تفقد عند تصلبه.

ويتكون أساسا من $C_{54} H_{77} O_3 (CooH)_2$ Dammarolic (حمض عضوى) وتتراوح درجة انصهار بين ١٠٠ – ١٥٠° م ، ووزنه النـوعى ١,٠٦٢ ، ورقمـه الحامضى من ١٦ – ١٨ . ويذوب الدامار تماما فى كل من التربنتين والهيـدروكربونات القطرانية Coal – Tarhydrocarbons ، كما أنه يذوب جزئيا فى الكحول . ولونـه زاهى براق ، كما أنه سريع الالتصاق ، والفيلم الناتج عنه يكون طريا ولزجا إلى حد ما.

ويعتبر الدامار من أكثر الرتنجات المستخدمة فى صناعة الورنيشات الواقية نظـرا لسهولة استخدمه . وعادة يكون ورنيش الدامار عكرا (غير شفاف تماما) وربما يكـون ذلك نتيجة لاحتفاظه ببعض الرطوبة وتتم تنقيته عن طريق أسالته قبل إذابته فى التـربنتين أو عن إضافة القلفونية إليه .

٣- الشيلاك (الجملاكة) Shellac

ينتج من الإفراز الراتنجى لحشرة اللاك Lac - Insect المعروفة باسم Carteria Lacca ، حيث يتم جمع اللاك الخام من الأشجار وسـحقه وتـصنيفه ، وتجمـع أكـبر الجسيمات التى يطلق عليها (بذرة اللاك) لصناعة أفضل أنواع الورنيش .

وقد وجد أن الشيلاك يتكون من : راتنج ٧٤,٥ % مادة ملونة ٦,٥ % ، شمع ٦ % ، ورطوبة ٣,٥ % ، متخلفات أخرى ٩,٥ % ، وهذا الراتنج يتكون بـصورة رئيـسية مـن إسـترات حمـض داى هيدروكـسى فيكوسـيريليك acid Dihydroxyficocerylic.

$$CH_3\ CH_2\ (\ CHOH\ )\ (\ CH_2)_7\ CHOH\ COOH$$

ويستخدم الشيلاك فى صناعة الورنيشات الكحولة ، وذلك بإذالبة ٥ — ٧ أرطال من الشيلاك فى جالون واحد من الكحول ، ويضاف إليه عادة راتنج زيتى لزيادة لدونته .

ويعطى ورنيش الشيلاك سطحا ناعما أملسا ، ويكون فيلما متماسكا ، ولكنه غير مقاوم للرطوبة تماما ، ويستخدم كبطانة لدهان الأخشاب المستخدمة فى التصوير حيث أنه يمنع أى راتنج آخر من الخشب وإصابة فيلم اللون (وذلك لأنه يعمل على سـد مـسام الخشب) كما أنه غير منفذ للمذيبات تستخدم عادة فى التصوير الزيتى ، ويكون بالتقادم روابط عرضية Cross — links أى يتحول إلى بوليمر شبكى وبالتالى يصبح أكثر صعوبة فى الذوبان وبالتالى يصعب إزالته من الأسطح المعالجة به . وتتراوح درجة انصهار الشيلاك

بين ٧٤ – ٧٨° م ، وكثافته النوعية من ٠,٩٧١ – ٠,٩٨٠ ومعامل انكسار ١,٤٥٦.

٤– الألم : Elemi

هو مصطلح عام يطلق على كثير من الرتنجات التى يتم استخلاصها من الأشجار التى تنتمى إلى عائلة Buseraceae وأهم أنوعها : Manilla Elemi أو الألم الطرى الذى يتم الحصول عليه من الفلبين ، وهو شبه متبلور ، أصفر اللون ، ويكون لزجا عادة ولكنه صلب . كما أن هناك أنواعا أخرى من الألم يتم الحصول عليها من جنوب أمريكا وإفريقيا وغرب الهند .

ويذوب الألم بسهولة فى كل من الاثير والكحول والكورفورم وثانى كبريتيد الكربون والبترول ، وستخدم بصفة أساسية لتعديل قوام أو صلابة الورنيشات ، كما يضاف إلى الشمع لزيادة لزوجته حيث يعطى خليطا يناسب الكثير من عمليات الترميم .

٥– السندراك : Sandarac

يتم الحصول عليه من نبات صنوبرى ينمو فى استراليا وفى إفريقيا على شاطئ البحر المتوسط ويعرف باسم Callitris quarivalvis ويوجد السندراك على هيئة كتل صفراء شاحبة اللون ، وتتراوح درجة انصهاره بين ١٣٥ – ١٤٥° م ، ووزنه النوعى من ١,٠٧ – ١,٠٨٨ ويذوب السندراك فى الكحول والاثير ، كما أنه يذوب بسهولة فى التربنتينا الساخنة إذا صهر أولا ، ويعطى مع الكحول أو التربنتينا ورنيشا كحوليا أبيض وصلبا ، وإن كان يصبح أكثر قتامة واحمرارا بمرور الزمن .

ويستخدم ورنيش السندراك فى طلاء المعادن حيث يعطيها رونقا وبريقا إذا طبق باعتدال ، كما أن الفيلم الناتج عن محلول الكحولى يعطى السطح لمعانا حريريا .

٦- الماستيك : Mastic

هو عبارة عن راتنج جامد يفرز طبيعيا من قلـف شـجرة المـصطكى Pistacis Lantiscus وهى شجرة صغيرة توجد فى جزيرة قبرص وغيرها من الجزر اليونانية ويفرز الراتنج من قنوات راتنجية فى اللحاء ويسيل من القلف عندما تثقب أو تجـرح الـشجرة بأى آلة حادة فى صورة قطرات تتجمد خلال بضعة أيام تجمع بعدها من على الشجرة .

ويوجد التماسك فى صورة قطع صغيرة كمثرية الشكل أو كروية تقريبـا قطرهـا حوالى ٤ - ٨ مم ، وأحيانا تكون القطع متطاولة (حـوالى ١ × ٢ سـم) والـراتنج الطازج يكون عديم اللون تقريبا ، شفافا ، لامعا يصبح بعد التخزين أصفر فاتحا .

ويتركب هذا الراتنج من أحماض راتنجية مع حوالى ٢ % زيوت عطريـة ويعتـبر الماستيك أعلى أنواع الراتنجات وهو ذو درجة انصهار منخفضة نسبيا (حوالى ٩٥° م) ووزنه النوعى ١,٠٧٤ ويذوب فى الكحول والاثير والكلورفورم والزيوت الأثيرية .

ويستخدم الماستيك بصفة رئيسية فى صناعة ورنيشات التـصوير الـزيتى ، كمـا يستخدم فى صناعة الورنيشات الكحولية . والورنيش المصنوع من الماستيك يكون براقـا ومرنا ، ويصفر بمرور الوقت ويصبح هشا مشققا ، ولكنه يزدهر (يستعيد بريقه وحيويته) تدريجيا فى الجو الرطب ويحضر ورنيش الماستيك عادة بإذابته فى زيت بـذر الكتـان أو التربنتين مع بعض الراتنجات الأخرى .

ثانيا : المخلفات الصناعية :

لقد ظهرت فى السنوات الأخيرة مجموعة كبيرة من الراتنجات واللدائن الصناعية نتيجة للتطور الكبير فى علوم الكيمياء ، وقد لاقت المنتجات رواجا كبيرا واستخدمت فى مجالات كثيرة من بينها مجال صيانة وترميم الآثار وغيرها من المقتنيات الثقافية والحضرية .

وقد ساهمت هذه المواد فى حل كثير من مشاكل الصيانة والترميم وأصبح لا غنى عنها ، وإن كان بعض العاملين فى هذا المجال يميلون إلى التحفظ وعدم الإفراط فى استخدامها على أساس أنها مازالت حديثة الاكتشاف إلى حد ما ولا يستطيع أحد الحكم على مدى صلاحيتها لأغراض الصيانة والترميم بصورة قاطعة ونهائية قبل مرور زمن طويل على استخدامها ، ولاشك أن وجهة النظر هذه لها ما يبررها مما يحتم أن يكون استخدامها مسبوقا بالدراسة والتجربة حتى يمكن الحكم على مدى صلاحيتها واستعمالها بالطرية التى تتناسب مع حالة الأثر المطلوب علاجه أو ترميمه . وقد وجد بالتجربة أن للدائن أحيانا مميزات قد تتفوق على المواد الطبيعية السابق ذكرها ، وعلى سبيل المثال فإن الشموع المختلفة مثل الشمع دقيق الحبيبات Microcrystalline wax يمكن الحصول عليه فى صور متعددة – سائلة أو صلبة أو فى صورة عجينة كما أنه يذوب فى الماء ، بينما الشموع الطبيعية مثل شمع العسل لا يذوب إلا فى المذيبات العضوية ، كما تلتصق به الأتربة – كما سبق ذكره – نظرا لطبيعته الشحمية بعكس الشمع الصناعى .

وفيما يلى سنتناول أهم المخلفات أو المواد الصناعية التى استخدمت فى مجال علاج وترميم وصيانة الآثار .

١ – الراتنجات واللدائن الصناعية Synthitic Plastics and Resins :

الرايتجات الصناعية هى مركبات عضوية شفافة ذات تبلمر عال وتتكون هذه الراتنجات بتجميع جزيئات تم تحويرها كيميائيا فتكتسب خواصا معينة أو صفات لا

تتوفر فى المواد الطبيعية وتحضر الراتنجات الصناعية (المخلقات) فى الصناعة بالاتحاد بين وحدات بسيطة أو جزيئات مفردة وذات وزن جزيئى صغير يطلق عليها اسم مونـــومر Monomer فتتحول بذلك إلى المركبات ذات وزن جزيئى كبير تعـــرف بـــالبوليمرات . Polymers

أما اللدائن فهى عبارة عن راتنجات صناعية مضاف إليها مساحيق الألوان ومواد مالية إلى جانب المواد الملدنة Plasticizers التى تساعد على سهولة تـــشكيل اللـــدائن وإكسابها المرونة المناسبة وهذه المواد الملدنة منها ما هو طيار Volletils ومنها ما هو غير قابل للتطاير نسبيا Nonvolatile والنوع الأخير يتميز بوزنه الجزيئى الكبير وبخواصـــه الطبيعية للبوليمرات ، فى حين أن المواد القابلة للتطاير تفقد ببطء ولا تبقى بالراتنجـــات مدة طويلة من الزمن مما يترتب عليه ضياع اللدونة وتحول الراتنجات بمرور الوقـــت إلى مواد صلبة هشة . وتتم عملية البلمرة Polymeriaztion بطريقتين :

الأول : بلمرة (تفاعل) بالإضافة Addition reaction :

وذلك عن طريق فتح الروابط الثنائية التى توجد فى المركبات غير المشبعة مكونـــة تكافؤات حرة ثم تضاف هذه التكافؤات إلى بعضها البعض لتكون جزئ البوليمر . ومثال الايثيلين إلى البولى ايثيلين كما يلى :

$$CH_2 = CH_2 \longrightarrow CH_2 - CH_2 - (CH_2 - CH_2)_n - CH_2$$

Ethylene (Monomer) Poly ethylene (Polymer)

أما الطريقة الثانية : فهى البلمرة (التفاعـــل) بـــالتكثيف : Condensation Reaction

حيث يتم تفاعل جزيئين أو أكثر من جزيئات البوليمر مع خروج جزئيـــات المـــاء Dehydration

وهناك نوعان من البلمرة هما :

١ - البلمرة المتجانسة : Polymeriaztion :

حيث يستخدم فى التفاعل نوع واحد فقط من المونومر الذى يتحد مع نفسه معطيا بوليمر تركيبه الأساسى هو تكرار لتركيب المونومر الأصلى كما يلى :

$$n(CH_2 = CHR) \longrightarrow (CH_2 - CHR -)_n$$

ومثال ذلك : البولى ايثيلين — السابق ذكره — والناتج من تكرار مونومر الايثيلين.

٢- البلمرة المتجانسة : Copolymcrization

حيث يستخدم فى بعض الأحيان أكثر من نوع المونومر للحصول على بوليمرات ذات خواص جديدة ، كما هو الحال فى بلمرة البوتادين Butadiene والستيرين Styrene معا حيث يتكون نوع جديد من المطاط (الكاوتشوك) يختلف فى خواصه عن المطاط التقليدى المصنع من البوتادين وحده ويمكن تقيم البوليمرات طبقا لترتيب الوحدات الأساسية بالسلسلة البوليمرية إلى :

١- بوليمرات فى صورة سلاسل جزئيئة طويلة (خيطية) Long chain molecules

وهى بوليمرات ترتبط فيها الوحدات الأساسية برباطين جانبيين فى تتابع مكونة جزيئا خيطيا طويلا . ويمكن توضيح ذلك بالشكل التالى :

(M – M - M – M – M) حيث أن (M) هى الوحدة البنائية الأساسية (المونومر Monomer) .

وتتميز الجزيئات الخيطية بأنها يمكن أن تترتب فى صورة مواز لبعضها البعض لتكون مسطحا نسيجى المظهر أو قد تلتف حول بعضها مكونة شكلا كرويا كما هو الحال فى المطاط ومن أمثلة البوليمرات الطبيعية الخيطية : السليولوز ، ومن أمثلة البوليمرات الخيطية المختلفة : البولى ايثيلين والبولى بروبلين والبولى إستر والبولى اميدات . وهى

بوليمرات يمكن الحصول منها على سطح نسيجى أو شرائح بلاستيكية . وتتميز البوليمرات الخيطية بالمتانة والمرونة وقابليتها للذوبان وقدرتها على الانصهار بارتفاع درجة الحرارة . وهذا النوع من البوليمرات هو أبسط الأنواع ، حيث الجزئ يشبه حبات السبحة أو العقد .

ومن البوليمرات الأخرى ذات السلاسل الطويلة والمشتقة من البولى ايثيلين :

بوليمر البولى فينيل كلوريد (polyvinyle Chloeide (P . V . C حيث أن المونومر هو كلوريد الفينيل ، وهو عبارة عن ايثيلين تم فيه استبدال ذرة هيدروجين بذرة كلورين .

وتعتمد الخواص الطبيعية للبوليمر على درجة التبلمر ، وتختلف البوليمرات فى خواصها وصفاتها عن المونومر اختلافا كليا ، حيث تتميز البوليمرات العالية بأن قابليتها للذوبان تكون ضئيلة جدا حتى أن بعضها لا يذوب بالمرة وبصفة عامة يمكن القول بأن قابلية البوليمر للذوبان تقل بارتفاع الوزن الجزيئى له ، كما أن التغير فى خواص وصفات البوليمر يعتمد بصفة عامة أيضا على نوع المونومر وطول السلسلة لجزئ البوليمر والتحكم فى ذلة يرجع أساسا لظروف عملية تصنيع البوليمر ونوع الوحدات الأولية (المونومر) المكونة له .

٢- بوليمرات متشعبة (مترفعة) : Branched polymers

وهى فى الواقع بوليمرات خيطية ولكن تحت ظروف تفاعل خاصة يحدث تشعب للسلسلة الطولية فى صورة شعب جانبية أقل طولا من السلسلة الأساسية ومن أمثلة البوليمرات المتشعبة : جزيئات النشا وبعض الراتنجات .

٣- بوليمرات شبكية : Net work polymers

وهى فى الأصل بوليمرات خيطية أو متشعبة ، وتحت ظروف خاصة تتكون روابط كيميائية عرضية أو بينية Cross Linkings تربط بين جزيئات هذه اليـــوليمرات مـــا يعرف بالتركيب الشبكى Net work polymer .

وتتوقف صفات هذا النوع من البوليمرات على عدد الروابط البينية الـــتى تـــربط السلاسل الرئيسية ، وهذه البوليمرات يمكن أن تكون مرنة كالمطاط الطبيعى والجلد ، أو صلبة عند زيادة هذه الرواطب بصورة كبيرة مثل المطاط المعـــالج بالكبريـــت . وتتميـــز البوليمرات الشبكية بصفة عامة بأنها لا تنصهر أو تلين بالحرارة ، كما أنهـــا غـــير قابلـــة للذوبان بشكل عام ولكنها فقط تنتفخ Swell فى المذيب إلى حد مـــا . ومـــن أمثلـــة البوليمرات الشبكية أيضا : الفينول فورمالدهيد واليوريا فروما لدهيم فى مراحلها المتقدمة من البلمرة .

والطريقة المستعملة لتنشيط المونومراتلتحويلها إلى بوليمرات هى :

١- الطرق الضوئية (وخاصة الأشعة فوق البنفسجية).

٢- بتأثير أشعة جاما أو أكس أو تيار كهربى ذى ذبذبة عالية .

٣- بتأثير الحرارة .

٤- بتأثير عامل مساعد أو مواد منشطة للتفاعل .

وتنقسم البوليمرات (الراتنجات واللدائن الصناعية) تبعا لتأثيرها بدرجة الحرارة إلى :

١- بوليمرات تلين بالحرارة : Thermoplasric

وهى مواد صلبة تنصهر أو تلين بالحرارة ثم تتصلب عندما تبرد ومثل هذه اللـــدائن تكون غالبا قابلة للذوبان فى المذيبات العضوية إلا إذا كانت ذات تبلمر عالى جدا ، وهى تتألف من سلاسل خيطية طويلة Long linear chains ولا توجد بينها وصلات عرضية Cross linkage ومثال ذلك خلال الفينيـــل المبلمـــرة (B . V . A) polyvinyl acetate التى تحتوى على ٢٠٠٠ وحدة (n = 2000) .

محاليل هذه الرتنجات فى المذيبات العضوية مثل الاستون والتولوين والزيلين والكحولات تستخدم كورنيش أو وسائط فى التصوير الزيتى أو مواد لاصقة أو كمحاليل لتقوية السطوح المتفتتة ، كما يمكن تحضير مستحلبات منها تستخدم لنفس الأغراض ولاتتثر صفاقما – مثل قابليتها للذوبان أو درجة الانصهار – بعمليات التسخين والتبريد ، وتوصف هذه البوليمرات أو الراتنجات بأنها عكسية التأثير بالحرارة .

٢– بوليمرات تتصلب على البارد : Thermo setting

وهى راتنجات أو لدائن تتشكل وتتصلب بالحرارة وتنتج من تفاعلات التكثيف ، ويستعمل الضغط والحرارة فى تشكيلها ، وبعد التجمد لا يمكن تطريتها أو صهرها بالحرارة ، كما أنها غير قابلة للذوبان فى المذيبات العضوية أى أنها تكون غير عكسية وفيها الجزيئات مرتبطة ببعضها البعض على شكل نسيج شبكى فى الأبعاد الثلاثة وفى الاتجاهات الثلاثة ومثال ذلك راتنجات الفينول .

٣– بوليمرات تتصلب على البارد : Cold setting

وهى راتنجات أو بوليمرات تحضر بخلط المونومر بالمجد أو المصلب Hardener الخاص به فى درجات الحرارة العادية بنسبة معينة تتوقف على نوع المونومر ونوع المجمد ودرجة الحرارة وكذلك الوقت اللازم للتجمد. والراتنج المتجمد غير قابل للذوبان فى المذيبات ، كما أنه لا يمكن صهره أو تطريته بالتسخين . وتختلف طريقة استخدام هذا النوع من الراتنجات باختلاف الكيفية التى يمزج بها المجمد بالراتنج .

وتوجد ثلاثة أساليب لمزج الراتنج بالمجمد الخاص به وهى :

١ – يضاف المجمد إلى الراتنج السائل بنسبة معينة ويمزج به جيدا بحيث يمكن أن يتجمد المزيد بعد فترة قصيرة من عملية المزج .

٢ – يدهن أحد الأسطح المراد لصقها بالمجمد بينهما يدهن السطح الآخر بـالراتنج ثم يوضح السطحان معا ويضغط عليهما وبذلك يتجمد الراتنج ويلتصق السطحان معا .

٣ – يوجد الراتنج ممزوجا بالمجمد الخاص به على هيئة بودرة جافة يضاف إليها الماء قبل الاستعمال مباشرة ، وبذلك ينشط التفاعل بينهما مما يؤدى إلى تجمد الراتنج

ومن امثلة هذا النوع من الراتنجات : الايبوكس والبولى استر والراتنجات السليكونية

ومن أهم الراتنجات الصناعية المستخدمة فى علاج وترميم وصيانة الآثار ما يلى :

أ – راتنجات أو لدائن الترموبلاستيك : Thermopladtic Resins :

١ – خلات الفينيل المبلمرة : polyvinyl Aectate :

$(CH_2 - CH-) CH_3 COO$

وهى تصنع من كل الاستيلين Acetylene وحمض الخليك Aectic acid مع استخدام بعض أملاح الزئبق مثل كبريتلت الزئبقوز Mercurous sulphate كعامل مساعد وتوجد على شكل حبيبات غليظة تسيل أو تتحول إلى الحالة السائلة عند وضعها فى جو مترفع الحرارة ، مما يؤدى إلى صعوبة الاحتفاظ بها فى الجو الحار ، وذلك فإنها تحفظ فى محتويات صغيرة محكمة فى درجات حرارة منخفضة بقدر الإمكان .

وتنتج الشركات أنواعا مختلفة تختلف فى درجة تبلمرها ، وأنسبها فى العلاج هو النوع المعروف باسم جلفا ٧ (Jelva 7) ويعتبر الرقم ٧ تعبير عن درجة اللزوجة ، وتركيزه ٨,٦ % فى البترول (البترين) ودرجة تبلمره ٦٠٠ (n = 600) وخلات البولى فينيل لها درجة ثبات عالية للضوء ، ولكن بالتعرض للضوء الشديد لفترات طويلة تزيد حساسيتها للتلف بالماء ، ولكنها لا تصفر بالعرض للضوء ، وهى قابلة للذوبان فى التولوين أو أى مذيب حلقى (أروماتى) آخر ، كما أنها تذوب غى الكيتونات

والأســـترات (Ketons & Esters) وتـــذوب أيـــضا فى الكحـــولات البـــسيطة Lawerlcohols بعد إضافة قليل من الماء لها ، ولكنـــها لا تتـــأثر بالهيـــدروكوبونات الأليفاتية Alphatichydrocarbons مثل الهكسان ، وتنتفخ فى الماء قلـــيلا خاصـــة فى حالة المركبات ذات معدل للزوجة المنخفضة وفى حالة المركبات ذات درجـــة البلمـــرة المنخفضة ، وتعطى هذه طبقة رقيقة مرنة فى حالة المركبات ذات درجة البلمرة المنخفضة ، بينما فى حالة البوليمرات العالية فتتكون طبقة صلبة وبارتفاع درجة الحرارة مـــن ٦٠° – ٢٠٠° م يتحول البوليمر إلى مادة لينة ، مع العلم بأن الحرارة تزيد درجة البلمرة .

ويمكن استعمال هذه المادة كورتيش مع تحاشى زيادة تركيـــز المحلـــول المـــستعمل ولعمل طبقة ورنيش سطحية جيدة يلزم تحضير محلول درجة لزوجته من ٤ : ١٥ درجة .

وأيضا يمكن استخدام خلال الفينيل الميلمرة كمواد لاصقة للتحف الخشبية وغيرها من التحف المكسورة . وكذلك يمكن تحضير محاليل هذه الخلات واستخدامها فى تقويـــة التحف الخشبية الضعيفة وقد تم تقوية بعض الألواح الخشبية الضعيفة فى مركـــب الملـــك خوفو باستخدام محلول من خلال الفينيل المبلمـــرة بالإضـــافة إلى محلـــول البيـــداكريل Bedacryl 122 X .

ويجب استخدام المحاليل السابقة بنسب تركيز منخفضة لكن تتسرب إلى الأجـــزاء الداخلية للتحف الخشبية لتقويتها .

٢- البولى فينيل الكحول :

Polyvinyl Alcohol (P . V . A L) $(CH_2 - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}} -)_n$

ويتم تحضير هذا المركب بواسطة التحلل المائى الجزئى أو الكلى لخـــلات الفينيـــل المبلمرة ، وتوجد منه عدة أنواع تعبا لدرجة التحلل المائى منها :

النوع الأول ٩٧,٥ — ١٠٠ % تحليل مائى ، النوع ٨٥ — ٩٠ % تحليل مائى ، النوع الثالث ٧٠ — ٨٠ % تحليل مائى . والمذيب الوحيد لها هو الماء ، والأنواع الكاملة التحلل أقلها قابلية للذوبان فى الماء (على عكس ماكان متوقعا ، وتحتاج عادة لماء ساخن (٨٥ — ٩٠° م) لإذابتها ، بينما الأنواع غير كاملة التحلل (المتحللة تحليلا جزئيا) تذوب بسرعة فى الماء البارد . ومحاليل هذا المركب — وخاصة قليلة التركيز — تكون معرضة لنمو الفطريات عليها ، وللتغلب على ذلك يضاف هذا المركب فى علاج الأخشاب فى معظم الأحيان .

وهذا المركب لا يتأثر بالضوء إلى حد كبير ، ولكن التعرض المستمر للضوء الشديد يؤدى إلى حدوث نقص ملحوظ فى متانته ، ولا تتأثر قابليته للذوبان بفصل الضوء فى حين أن ارتفاع درجة الحرارة إلى أكثر من ١٠٠° م تؤدى إلى عدم قابليته للذوبان كما تؤدى إلى حدوث اصفرار فى لونه ويلين هذا المركب ما يقرب من الانصهار عند درجة حرارة ما بين ١٢٠ ، ١٥٠° م .

وجميع أنواع هذا المركب وخاصة الأنواع ذات درجات التبلمر العالية تعطى بعد جفافها غشاء يتميز بدرجة كبيرة من المتانة والمرونة . وتعتمد متانة الأغشية المتكونة بعد الجفاف على نسبة الرطوبة المحيطة حيث تقل بارتفاعها ، وقد ثبت بالتجربة أن الأنواع التى توجد بها نسبة متوسطة من الخلات Acetate تظل منخفضة بقوة اللصق حتى درجة ٩٠ % رطوبة نسبية . كما تتميز الأغشية المتكونة بعد الجفاف بعدم قابليتها لنفاذ الغازات الجوية التى لا تذوب فى الماء بسهولة مثل الأكسجين .

وهناك لبعض الراتنجات المشتقة من البولى فينيل الكحولى مثل :

البولى فينيل فورمال Polyvinyl fonnal ، ويتم تحضيرها بتفاعل البولى فينيل الكحولى جزئيا مع الفورمالدهيد والاسيتا لدهيد والبيوتير الدهيد على التوالى و على سبيل المثال فإن الصيغة الكيميائية للبولى فينيل بيوتيرال هى :

$$(CH_2 - CH - \ CH_2 - CH -)n$$

$$\qquad | \qquad\qquad |$$

$$\qquad O \qquad\qquad O$$

$$\qquad \diagdown \quad \diagup$$

$$CH - CH_3 - H_7$$

وجميع هذه المركبات لا تتأثر بالضوء ويذوب البولى فينيل فورمال فقط فى المذيبات العضوية القوية مثل رابع كلوريد الكربون وثلاثى كلوروالايثيلين ، أما البولى فينيل استيال والبولى فينيل بيوتيرال فإنهما يذوبان فى الكحولات والاسيتون والهيدروكوبونات الأروماتية ، ولكى تقل درجة الذوبانية لهذه المركبات بالتسخين فوق ١٠٠° م وجميع الأنواع تكون أغشية صلبة متماسكة Tough films وتعتبر أغشية البولى فينيل فورمال أكثرها صلابة ، فى حين أن أغشية البولى فينيل بيوتيرال أكثرها لدونة ، ولذلك فإنها تستخدم كورنيش لتغطية اللوحات الزيتية والنقوش الجدارية . كما يستعمل البولى فينيل بيوتيرال أيضا لتقوية المنسوجات الهشة .

٣- كلوريد البولى فينيل :

Polyvinyl chloride(P . V . C) $(CH_2 - CH -)n$

$$\qquad |$$

$$CH$$

هو راتنج عديم الرائحة ، خامل كيميائيا ويذوب فى الدايوكسان Dioxan كما أنه يذوب جزئيا فى الأتيتون ، ولا يذوب فى الكحولات والماء ، ويقاوم الأحماض وهو قليل الثبات للحرارة والضوء . ومعامل انكساره حوالى ١,٥٤٤ عند درجة حرارة ٢٠° م .

٤ – البولى ميثاكويلات :

$$\text{Polymethacrylatss}(\ CH_2 - \underset{COOR}{\overset{CH3}{C}} -)_n$$

وجميع هذه الأنواع لا تتأثر بالضوء وثابتة حتى درجة حرارة ٢٥٠° م ، إلا أنه قد ثبت بالتجربة أن قابليتها جميعا للذوبان تتأثر بفعل الضوء دون أن تغيير فى مظهرها وخاصة نوع إلا يزوبيوتيل ، وجميعها قابلة للذوبان فى التولوين وزيت التربنتين والهيدروكربونات الاليفاتية التى تحتوى على نسبة تتراوح ما بين ٢٥ ، ٣٠ % من الهيدروكربونات الاروماتية وبعد جفاف هذه المركبات تعطى غشاءا صلبا لامعا شفافا ، وأكثرها صلابة من أغشية البولى ميثيل ميتاكريلات ، بينما أغشية بولى فورماليبوتيل ميثاكريلات أكثرها مرونة . ودرجات الحرارة اللازمة لنظرية هذه المركبات هى : ٧٢° م للبولى ميثيل ميثاكريلات ٥٥° م للبولى ليثيل ميثاكريلات ، و ٥٤° م للبولى ايزوبيوتيل ميثاكريلات و ، ٢٥°م بولى فورماليبوتيل ميثاكريلات.

وأنسب هذه البوليمرات فى تقوية الأخشاب المشبعة بالماء هو بوليمر البولى ميثيل ميتاكريدات ، حيث تتم عملية البلمرة داخل الخشب بعد تشبعه بمونومر الميثيل ميتاكريدات وتعرضه لأشعة جاما (كما هو موضح فى طرق العلاج) ، ومونومر الميثيل ميتاكريدات Methylmethacrylate monomer سائل متطاير ذو لزوجة منخفضة ويغلى عند درجة حرارة ١٠٠,٣° م ، وذو بلمرة حفارة ذاتيا ، ويتأثر بسهولة بواسطة كل من الضوء والحرارة والأكسجين . ويتراوح الوزن الجزيئى لبوليمر البولى ميثيل ميثاكريلات من ٥٠٠٠٠ – ٢٠٠٠٠ وكثافته من ١,١٨ – ١,١٩ جم / سم³ وتبلغ درجة نزججه ٩٨° م .

ومن مركبات الاكريليك الشائعة الاستخدام أيضا فى مجالا لآثار : البارالويد Paraloid B72 والبريمال Primal Ac 55 وهو عبارة عن البارالويد المذاب فى الماء

وكذلك يعتبر راتنج البيداكريل من الراتنجات التى تستخدم فى تقوية الأخشاب الـضعيفة بعد تخفيفه بالتولوين ولوقاية الخشب من الحشرات يضاف حوالى ٢ % من مادة الـ D . D . T إلى محلول البيداكريل المستخدم فى العلاج .

٥- النايلون القابل للذوبان : Soluble nylon

وهو مادة مشتقة من النايلون الصناعى المحوركيميائيا وعرف باسم هيدروكسى ميثيل نايلون (N. hydroxyl mlethyl nylon) ويحضر بمعالجة النايلون بالفورمالدهيد ، ويوجد فى صورة مادة صلبة مسحوقة بيضاء ، وتذوب فى الكحول الميثيلى أو الكحول الايثيلى الساخن المخلوط مع الماء بنسبة ٧٠ % كحول ، ٣٠ % ماء ويكون هذا المحلول هلامى القوام فى درجة الحرارة العادية ولكن بتسخينه إلى ٤٠° م يتحول إلى الحالة السائلة . والغشاء المتكون بعد جفاف محلول النايلون يكون مطاطيا أو مرنا ، ولا ينكمش عند الجفاف ، ويتميز بنفاذيته العالية لبخار الماء ، كما أنه غير لامع ، ولذلك يعتبر من أفضل المواد يمكن استخدامها فى معالجة الصور الزيتية والنقوش الجدارية

(ب) راتنجات أو لدائن الثرموستنج : Thermosetting Resins

١- راتنجات الفينول : Phenol Resins :

وتنتج من تفاعل الفورمالدهيد وتكثفه مع الفينول وتسمى باللدائن الفينولية ، وهى من أول اللدائن التى نالت انتشارا واسعا ، وقد توقف استعمالها فى أغراض العلاج والترميم وذلك لأنها تكسب السطوح المعالجة بها لونا قاتما .

٢- راتنجات اليوريا فورمالدهيد : Urea – Formaldehyde Resins

وتحضر بتكثيف البولينا (اليوريا) مع الفورمالدهيد أو البولينا الكبريتية مع الفورمالدهيد ويتكون الراتنج من مخلوط معقد التركيب . وهذه الراتنجات من أفضل

الأنواع التى يمكن استخدامها فى أغراض العلاج والترميم وخاصة فى علاج وترميم الأخشاب .

٣- راتنجات الميلامين فورمالدهيد : Melamine – formaldehyde

وتحضر بتكثيف الميلامين مع الفورمالدهيد ، وتستخدم أيضا فى أغراض العلاج والترميم وخاصة علاج وترميم الأخشاب .

(جـ) راتنجات أو لدائن الكولدستنج : Codestinh Resins

١- راتنجات الابيوكس : Epoxy Resins

استخدمت هذه الراتنجات على نطاق واسع فى علاج وتقوية التحف الخشبية ومظم هذه الراتنجات تتميز بدرجة لزوجة عالية وهى تتكون من مركب راتنجى لزج يدخل فى تركيبه الكيميائى فى مجموعة أو حلقة الابيوكسيد Epoxide التى يحتوى جزيئها على مجموعة الايثوكسليلين المنشطة Ethoxylin Group وبإضافة المجمد المناسب تتفخ حلقة الابيوكسيدو تتصل الجزيئات معا مكونة مجموعات هيدروكسيل تتفاعل بدورها مع مجموعات ايبوكسيد أخرى مكونة روابط ايثيرية مما يعطى الراتنج الناتج تركيبا شبكيا فى الأبعاد الثلاثة ، وتصبح المادة الناتجة شديدة الصلادة ، حيث يتم التفاعل والتحول إلى الصلابة دون تطاير أو سوائل وبالتالى دون حدوث أى انكماش تقريبا .

وراتنج الايبوكس الشائع تجاريا تركيبه الكيميائى هو :

(Bisphenol – A – diglycidyl ether)

وله درجة لزوجة عالية جدا تصل إلى ١٠٠٠٠ – ١٦٠٠٠ (C . P) Centipoises عند درجة حرارة ٢٥° م ، ولتخفيف هذه اللزوجة العالية يضاف إليه نسبة ١١ – ١٣ % من المذيب العضوى المعروف باسم Butylglycidyl Ether حيث تنخفض درجة لزوجته إلى ٢ – ٣ (C . P) فى درجة حرارة ٢٥° م.

ومن الراتنجات التى تتميز بدرجة لزوجة منخفضة راتنج dioxide Butadiene وهو سريع التسرب فى مسام الخشب . وراتنج dioxide Vinylcyclohexane الذى تبلغ درجة لزوجته ٧ (C . P) عند درجة حرارة ٢٥° م. وكذلك راتنج Butanedioldiglycidyll الذى تبلغ درجة لزوجته ١٠ (C . P) عند درجة حرارة ٢٥° م.

ومن الرتنجات التى تتميز بطول مدة الاستعمال (الوقت اللازم للتصلب) : راتنج Bisphenenol A الذى تصل طول مدة استعماله إلى ١٣٥ دقيقة تقريبا ، بينما تصل مدة استعمال راتنج Diethylenetriamine إلى نصف ساعة ، ولإطالة مدة استعماله أكثر من ذلك يضاف إليه حوالة ٥ % من : methylethyl ketone لكى يسترب أيضا إلى أبعد عمق فى الخشب .

ومن أهم مجمدات الايبوكس : الاينات الأولية مثل : ايثيل أميل – CH_2-NH_2 – CH_3 والأميات الثانوية $CH_3-NH\ CH_3$ ، الهيدريدات الأحماض العضوية مثل : الهيدريت حمض الخليك $(CH_3\ CO)_2O$) والاميدات مثل استيدميد $CH_3-CO\ NH_2$

ويوجد الايبوكس على عدة صور تجارية : كمادة صلبة أو سائلة أو فى صورة عجينة ، كما أنه يمكن التعديل فى صفاته بتغيير تركيبه للحصول على نوعيات تصلح للأغراض المختلفة فى الترميم .

وتختلف أنواع الايبوكس المنتشرة تجاريا فى خواصها لتناسب ظروف التطبيق المختلفة من حيث :

١- اختلاف درجات الحرارة وتأثيرها على درجة التصلب .

٢- اختلاف زمن التصلب .

٣- اختلاف درجة السيولة أو اللزوجة (القدرة على الانتشار)

ومن أهم أنواع الايبوكس المستخدمة حاليا النوع المعروف تجاريا باسم أرالـــديت Araldite وهو من أنواع أو أصناف متعددة لها درجات لزوجة متفاوتة لاســـتخدمها فى الأغراض المختلفة ، ففى حالة استخدامه فى التقوية يستخدم نوع ذو لزوجـــة منخفـــضة حتى يتسرب بسهولة داخل مسام الأثر كما يمكن أيضا تحـــضير محلـــول مـــن مخلـــوط الايبوكس بنسب متفاوتة فى مذيب عضوى مثل الطولوين أو الاسيتون لتقليل اللزوجـــة بدرجة أكبر حتى يمكن للمزيج أن يتسرب داخل المـــسام ثم يتبخـــر المـــذيب ويتجمـــد الايبوكس داخل المسام مما يقوى الأثر تماما .

ويمكن استخدام المخلوط التالى لتقوية الأخشاب الضعيفة بالتشرب :

Araldiet CY 219	50 parts
Hardner HY 219	25 parts
Accelerator	1 parts
Dibutyl phyhalate	10 parts

أما فى حالة استخدام الايبوكس فى اللصق فإنه يستخدم فى هذه الحالـــة نـــوع ذو لزوجة مرتفعة مثل النوع المعروف با أيبوكس GY255 مـــع Hy 2991 أو Hy 2992 كما يمكن أيضا تكملة الأجزاء الناقصة من الأثر باستخدام خليط من المونومر والمجمد مع مادة مالئة من نشارة الخشب ، حيث يستخدم هذا المعجون لمـــلء الثقـــوب والـــشقوق وتكملة الأجزاء الناقصة . وكذلك أنتج أخيرا بعض أنـــواع الأراليـــديت الـــتى يمكـــن استخدامها تحت الماء Araldite cure underwater .

٢- البولى إستر : Polyester Resins

وينتج بواسطة التفاعل بين الكحـــولات عديـــدة الهيدروكـــسيل Polyhdroxy Alcohol والأحماض عديدة الكربوكسيل Polybasic acid . ولتحضير محلـــول مـــن مواد البولى إستر يخلط المونومر بالمجمد أو الحفاز Catayst بنسبة معينة لنحـــصل علـــى المحلول المناسب للعلاج .

ومن المعروف أن المونومر يتركب من استر غير مشبع يتحول بعد إضافة الحفار أو المعجل Accelerator إليه إلى بوليمر صلب . وتتميز مواد بانخفاض درجة لزوجتها مما يجعلها من المواد الصالحة فى علاج وتقوية التحف الأثرية ويمكن التحكم فى درجة لزوجتها وفى طول مدة استعمالها باستخدام المجمد بنسب متفاوتة أو بإضافة نسبة من أحد المذيبات العضوية إلى المحلول المستخدم فى العلاج وكذلك يمكن استخدام أشعة جاما لتساعد على سرعة التبلمر . وقد شاع استخدام مواد البولى استر فى علاج وتقوية الأخشاب الضعيفة لما تتمتع به من مميزات فى خواصها لكيميائية والطبيعية تتفوق بها على كثير من المواد والراتنجات الطبيعية والصناعية . ومن أمثلة مواد البولى استر كما هو معروف تجاريا باسم Marcon Resin .

ومن عيوب الراتنجات السابق ذكرها : أن بعضها يسبب قتامة فى لون الخشب ، كما أن بعضها يتأثر بالإشعاعات الخارجية وضوء الشمس ، إلا أن أخطر عيوب هذه الراتنجات أنها غير عكسية التفاعل Irreveesibe أى أنه لا يمكن إزالتها من الخشب عند حدوث خطأ فى الاستعمال أو التأكد من عدم صلاحيتها فى العلاج .

٢- لدائن مشتقات السليولوز :

بالإضافة إلى الأنواع السابقة من الراتنجات واللدائن الصناعية ، وتوجد أنواع أخرى من اللدائن الصناعية الناتجة عن تحوير بعض المواد الطبيعية ، ومنها لدائن مشتقات السليولوز التى تستخدم بكثر فى صيانة وترميم الآثار . ومن أهم لدائن مشتقات السليولوز التى تستخدم فى مجال الصيانة والترميم ما يلى :

١- نترات السليولوز : Cellulose nitrate (C . N.) (ONO2)3 n

تعرف لدائن نترات السليولوز باسم الباغة أو السيلولويد Celluloid كما يطلق عليها أيضا قطن البارود Cun Cotton أو البيروكسيلين Pyroxylin .

ويتم تحضير نترات السليولوز بمعالجة ألفا سليولوز من شعر أو نسالة القطن أو سيلولوز لب الخشب بواسطة حمض النيتريك المركز أو مخلوط من حمض النيتريك وحمض الكبريتيك المركزين عند درجة ٣٠° م لمدة نصف ساعة ليعطى نترات السليولوز بواسطة عملية كيميائية تسمى النيترة Niteation حيث يتم إدخال مجموعات (NO_2) فى جزئ اليليولوز لتحل محل المجموعات وتذوب نترات السليولوز فى الاسيتون والايثانول وخلات البيوتيل وخلات الأميل وخلات الايثيل . وتستخدم نترات السليولوز كمحلول مذاب فى الاسيتون وخلات الاميل بنسبة ١ : ١ كمادة لاصقة باسم داج حيث تستخدم فى لصق الفخار والزجاج والبورسلين ، كما تذاب أيضا فى الاسيتون وخلات الاميل بنسبة ٢ % لاستعمالها فى التقوية . وتتميز نترات السليولوز بأنها عكسية التفاعل . ولكن من عيوبها الهشاشية والانكماش بعد الجفاف ، وبمرور الوقت تتحلل وينتج عنها حمض النيتريك ، كما أنها قابلة للاشتعال ، ويتغير لونها بتعرضها للضوء . ولذلك لا يفضل استعمالها حاليا فى مجال صيانة الآثار .

٢- خلات السليولوز :

Cellulose Acetate (C. A .) ($C_6 H_7 O_2$) ($OCOCH_3$)n

ويتم تحضيرها بمعالجة ألفا سليولوز من شعيرات القطن بواسطة مخلوط من حمض الخليك الثلجى (الجليدى) وحمض الخليك اللامائى (الهيدريد حمض الخليك) فى وجود عامل مساعد مثل حمض الكبريتيك المركز ، ويتم التفاعل عند درجة حرارة أقل من ٥٠° م ليعطى خلات السليولوز بواسطة عملية كيميائية تسمى الأستلة Acetylation حيث يتم إدخال مجموعات الاسيتيل -CH_3CO من خلال تفاعل أنهيدريد حمض الخليك مع المجموعات الكحولية فى جزئ السليولوز وقد يضاف إلى المنتج المتكون بعض الفوسفاتات العضوية Phosphate Organic لإكسابه المرونة أو اللدونة اللازمة .

وتذوب خلات السليولوز فى كل مـــن الاســـتون وكحـــول ثنـــائى الاســـيتون diacetone alcohol وثنائى كلوريد الايثيلين Ethylene dichloride وخلات اثـــير الجليكول Ether Glycol Acetates وتتميز بشفافيتها وعدم تغير لونها بفعل الضوء . كما تتميز بدرجة كعقولة من الثبات الكيميائى كذلك تكاد تكون غير قابلة للاشتعال فى الحالة الصلدة .

وقد قام كل من : هيل (Hill) وويبر (Weber) بدراسة للمقارنة بين ثبـــات كل من نترات وخلات السليولوز ، وذلك من خلال تجارب التقادم على أفـــلام لكـــل منهما ، حيث توصلا إلى أن خلال السليولوز تحتفظ بمرونتها أكثر من نترات السليولوز ، كما أنها تظل متعادلة فى حين أن نترات السليولوز تميل إلى الحالة الحمضية بدرجة كبيرة .

وقد أتقرح بلندرليت Plender leith استخدام محلول ١ % من خلال السليولوز فى الاسيتون لتقوية النسيج الهش ، كما أقترح أيضا استخدامه كمادة لاصقة أو رابطـــة لترميم العاج القديم .

٣- خلات بيوتيرات السليلوز: (Cellulose Acetata Butyrate (C . A . B

ويوجد هذا المنتج تحت أسماء تجارية متعددة منها : ,Kodopak II Rhonox II

ودرجة البلمرة من ٢٠٠ : ٣٠٠ وحدة .

وقد أنتج تجاريا أفرخ من C . A . B . ذات لزوجة منخفضة (مرنة) مكونة مـــن ٦ : ١٣ % خلات ، و ٣٧ : ٤٨ % بيوثيرات لتعطى خواصا تتفوق علـــى خـــلات السليولوز .

وتتميز لدائن C . A . B بشفافيتها ومقاومتها للرطوبة ، كما أنها أكثـــر لـــدائن مشتقات السليولوز ثباتا من الناحية الكيميائية ، ولذلك فهى أفضل وأصلح هذه اللدائن للاستخدام فى مجال الصيانة والترميم . وتذوب خلات بيوتيرات السليلولوز فى كل مـــن

الاسيتون ومحلول مكون من الايثانول والطولوين بنسبة ١ : ٤ لكل منهما على التوالى ، ولكنها ى تذوب فى الهيدروكربونات الاليفاتية أو الماء . وتتأثر بـــالحرارة عنـــد درجـــة ١٢٠° م .

٤– الشموع المخلقة : Synthetic Waxes

وهى شموع صناعية تتشابه مع الشموع الطبيعية فى بعض الخواص وخاصة ى المظهر ، ولكنها تختلف معها فى كثير من الخواص المختلفة وفى التركيـــب الكيميـــائى ويمكـــن الحصول عليها بنوعيات مختلفة ذات خواص متميزة . وأهم الشموع المخلقة المـــستخدمة فى مجال علاج وصيانة وترميم الآثار هى :

١– الشمع دقيق البللورات (الميكروكريستالين) :Micro crystalline wax

وهو يعتبر نصف مخلق ، حيث ينتج أثناء عمليات تكرير زيت البتـــرول كنـــواتج ثانوية ، وبإجراء بعض المعالجات الخاصة . ويتكون من هيدروكربونات اليفاتيـــة دقيقـــة البللورات ، ولذلك فإن هذا الشمع يكون أكثر لدونة من شمع البرافين العادى . ويمكـــن الحصول على أنواع مختلفة منه تتفاوت فى درجات انصهارها وصلابتها ومرونتها . ومـــن أفضل أنواعه المستخدمة فى عمليات العلاج والترميم النوع المعروف باسم كوزمولويـــد ٨٠ (Cosmoloid 80) .

وهذا النوع من الشموع مظهرا جيدا للأسطح الخشبية المعالجة به ، كما أنه يحميها من تراكم الأتربة والغبار حيث وجد أن الأسطح المعالجة به تعطى فارقا كـــبيرا فى تـــأثير الأتربة عليها بالمقارنة بالأسطح غير المعالجة . ويستخدم هذا الـــشمع أيـــضا فى تقويـــة اللوحات الزيتية . ويذوب فى التربنتين والطولوين مع التسخين على حمام مائى .

٢– شمع البولى ايثيلين جليكول :

Polyethylene Glycol Wax $HOCH_2 - (CH_2 - O - CH_2)_n - CH_2 OH$

ويتكون من مبلمرات البولى ايثيلين جليكول ذات الأوزان الجزيئية العاليـــة وهـــو يشبه فى مظهره الشموع الطبيعية ، ولكنه يختلف عنها فى كونه يذوب فى الماء فى درجات الحرارة العادية . وينتج شمع البولى ايثيلين جليكول فى صور متعددة حسب درجة البلمرة أو عدد الوحدات المكونة للمرنومر (n) ، فإذا كان هذا العدد قليلا يكون الشمع على هيئة سائل لزج ، وإذا كان هذا العدد أكثر قليلا (متوسط) يكون الشمع نصف صـــلد له قوام الفازلين ، أما إذا زاد عدد الوحدات بدرجة كبيرة يصبح الشمع فى صورة صـــلبة له مظهر الشمع الطبيعى .

ويعرف أيضا شمع البولى ايثيلين جليكول باسم كربوواكس Carbo Wax ويوجد منه العديد من الأنواع من أهمها : كربوواكس١٥٠٠(Carbo Wax 1500) الـــذى يستعمل فى إعادة المرونة للجلود القديمة التى أصبحت هشة متــصلبة نتيجـــة للجفـــاف الشديد مع تقويتها أيضا . وكذلك كربوواكس٤٠٠٠(Carbo Wax 4000) وهـــو عبارة عن مسحوق أبيض ويستخدم على شكل محلول مائى فى علاج الأخشاب المعمورة فى الماء أو المستخرجة من تربة رطبة وفى حالة هشة ، حيث يحل محل الماء الموجود خلايـــا هذه الأخشاب ويمنع تقلصها وتشوهها عند الجفاف ويعيد لها شكلها ومتانتها . والشموع ذات الوزن الجزيئى المنخفض (١٠٠٠ ، ١٥٠٠) وتتأثر بالرطوبة العالية والجو الحار ، ولكنها سهلة التطبيق ، أما الشموع ذات الوزن الجزيئى العالى (٤٠٠٠) فتكون أكثـــر مقاومة للحرارة والرطوبة ولكنها أصعب فى التطبيق .

الطرق العلمية المستخدمة فى علاج الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطمورة فى تربة رطبة

من المعروف أن عوامل تلف الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطمورة فى تربة رطبة تؤدى إلى انكماش وتقلص والتواء وتشوه هذه الأخشاب بدرجة كبيرة وربما انهيارها تماما إذا تعرضت للجفاف السريع والمفاجئ بعد استخراجها مباشرة ولذلك فإنه يجب الإسراع بلفها بأوراق نشاف أو جرائد أو قماش مبلل أو وضعها فى أكياس نايلون بمجرد استخراجها فى فصل ثم يتم نقلها بعد ذلك مباشرة للمعامل المختصة للعلاج . وتمثل هذه العملية (لف الأخشاب) الخطوة الأساسية والهامة فى حفظ وصيانة هذه الأخشاب وإنقاذها من الفناء .

وعلى الرغم من أن علاج وصيانة هذه الأخشاب يعتبر من أصعب المشاكل والتحديات التى تواجه المتخصصين فى مجال علاج وصيانة الآثار إلا أن هناك محاولات مستمرة وطرقا عديدة للتغلب على هذه المشكلة ، وذلك عن طريق محاولة تقوية هذه الأخشاب بمحاليل مواد التقوية المختلفة الطبيعية أو المختلفة ، والغرض من جميع هذه المحاولات والطرق هو تثبيت أبعاد الأخشاب ومنعها من الانكماش ، وتحسين خواصها الميكانيكية ، وكذلك زيادة مقاومتها للتغيرات المستمرة فى معدلات الرطوبة النسبية من حولها ، وأيضا مقاومتها للحشرات والكائنات الدقيقة .

ويجب أن تتضمن طرق علاج الأخشاب أمرين هما :

١- إحلال الماء الموجود داخل خلايا الخشب بمادة تملأ الفراغات الداخلية للخلايا دون أن يتسبب عن استخدامها انكماش أو تقلص فى أبعاد الخشب بعد الجفاف وتبخر المذيب منها .

٢- أن تعمل المادة المستخدمة فى العلاج على تقوية جدران الخلايا الخشبي الرقيقة وتحفظها من الاعوجاج أو التشوه أو التغير فى الأبعاد .

ومن أهم وأشهر الطرق التى استخدمت فى علاج وصيانة الأخشاب المستخرجة من الماء أو من التربة الرطبة ما يلى :

١- طريقة شب البوتاسيوم (الشبة) : Alum method

حيث تستخدم فى هذه الطريقة مادة الشبة Alum (كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم المائية $K_2SO_4\ Al_2\ (SO_4)_3$ aluminum Potassium aulphate $24H_2O$) للتبلور داخل خلايا الخشب وتحل محل المياه الموجودة فيها وتعتمد هذه الطريقة على الخواص الطبيعية لشب البوتاس فهى مادة تذوب تمام فى الماء الساخن بينما لا تزيد نسبة ذوبانها فى الماء البارد عن ١٠ % . فعند علاج الأخشاب بالمحلول المركز الساخن جدا من الشبة والمحتوى على نسبة من الجلسرين (شب : ماء : جلسرين بنسبة ٣ : ١ : ١ على التوالى) فإن الشبة - بانخفاض درجة الحرارة تتبلور داخل الخلايا وتملؤها بدلا من الماء ، وتثبت جدران الخلايا الضعيفة ويساعد الجلسرين على عدم تغيير لون الأخشاب ، كما أن الخاصية الهيجروسكوبية للجلسرين تعمل على أن يكون امتصاص أو فقد الخشب للماء بنفس معدل التغير فى الرطوبة الجوية المحيطة . وعمليا يتم غمر الأثر الخشبى فى محلول مركز من الشبة فى درجة حرارة من ٩٢ - ٩٦° م ويترك فى هذا المحلول لمدة من الزمن حتى نتأكد من تشبعه تماما ، ومعدل الوقت اللازم لعملية التشبع حوالى ١٠ ساعات ، ولكن تكون هذه المدة أطول إذا كان الأثر الخشبى غير مسامى أو كبير الحجم .

بعد ذلك يرفع الأثر من المحلول ويغسل بسرعة بماء دافئ ثم يترك جانبا ليبرد ، وبعد جفاف الأثر يمكن إزالة ما تبقى على سطحه من الشة باستعمال فرشاة أو بقطع من

القماش المبلل بالماء الساخن ، ثم يعالج بطبقة من زيت بذر الكتان المخفف بزيت التربنتين بنسبة ١ : ١ وذلك لسد مسام الخشب .

ويبدو الخشب عند بدء العلاج وبعده مباشرة فى حالة طيبة إلى حد كبير ولكن هذه الطرية لها ضرران رئيسيان هما :

الضرر الأول : هو أنه بمرور الوقت تتميأ الشبة جزيئا لتكون حمض الكبريتيك فى وجود أى نسبة من الرطوبة حسب المعادلة التالية :

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

ويسبب الحمض المتكون تآكل وحرق الخشب ، كما يساعد على سرعة تحلل السليولوز وكذلك الجنين المقوى للخشب فيضعفه .

الصرر الثانى : وهو أخطر من الضرر الأول حيث أن زيادة تبلور الشبة تدريجيا داخل خلايا الخشب بمرور الوقت وفى وجود الرطوبة يسبب تفتته بدرجة شديدة ، ولا يمكن علاج هذا العيب وقد حدث هذا الضرر للمركب النرويجى Viking ship ولم يكن من السهولة إنقاذه من التفتت والتآكل نتيجة لمعالجته بمحلول الشبة .

وهذه الطريقة هى أول طريقة استخدمت لعلاج الأخشاب المغمورة فى الماء ، ولكنها غير مستعملة فى الوقت الحاضر نظرا للأضرار السابق ذكرها .

٢- طريقة أريجال س : Arigal – C method

تعتمد هذه الطريقة على استخدام نوع معين من راتنجات الميلامين فورمالدهيد fonnaldehyde Melamine هو راتنج يعرف تجاريا باسم (Arigal – C) .

ويجرى العمل فى هذه الطريقة باتباع الخطوات الآتية :

١- تغسل الأخشاب بالماء لإزالة الأحماض والمركبات الأخرى الناتجة عن تحللها خلاب فترة وجودها فى الماء أو التربة الرطبة .

٢- تغمر الأخشاب بعد ذلك فى محلول ٢٥ % من راتنج الميلامين فورمالدهيد فى الماء - فى درجة حرارة مع مراعاة أن يكون حجم المحلول خمسة أضعاف حجم قطعة الخشب تقريبا وتترك به تتشبع تماما بالمحلول ويحل الراتنج محل الماء الموجود داخل الخلايا ، وقد تستغرق هذه العملية عدة أسابيع وذلك حسب حجم الخشب .

٣- ترفع الأخشاب من محلول الراتنج وتغمر فى محلول المجمد وهو غالبا كلوريد الأمونيوم مع وضع الإناء الذى به الأخشاب داخل ناقوس مخلخل الهواء إلى ٨٠ مم / زئبق (الضغط الجوى ٧٦٠ مم / زئبق) ثم ترفع الأخشاب من المحلول قبل تجمده

وبعد حوالى ٣٥- ٤٠ ساعة من رفع الأخشاب من محلول المجمد يتحول الراتنج السائل داخل الخشب إلى مادة صلبة مما يقوى جدران الخلايا الخشبية وبالتالى يقوى القطعة الخشبية الضعيفة.

وقد أثبتت اختبارات الصلاحية التى أجريت على الأخشاب المعالجة أنه من الصعب منع الانكماش الكبير الذى يحدث للأخشاب المعالجة بهذه الطريقة ، غير أنه أمكن التغلب على ذلك جزئيا عن طريق العلاج مراحل ، حيث يتم تشبع الأخشاب بالراتنج الذائب فى خطوة ثم بالمجمد فى خطوة ثانية ، ثم يتم وضع الخشب المعالج فى جو متناقص الرطوبة النسبية تدريجيا حتى يتمجد الراتنج حيث يتم التوازن بين الرطوبة الداخلية للخشب والرطوبة النسبية المحيطة ، وتساعد هذه الطريقة فى عدم الانكماش الكبير للخشب . ولكن نظرا لصعوبة مراحل المعالجة والوقت الكبير الذى تستغرقة فضلا عن غمقان لون الخشب فإنه من غير المستحب علاج الأخشاب بهذه الطرية .

٣- طريقة الكحول والأثير واللدائن : The Alcohol, Ether & Resins method

تعتمد هذه الطريقة على استبدال الماء المتغلغل فى مسام وخلايا الأخشاب ، بالكحول ثم بالأثير ثم يستبدل الأثير باللدائن التى تقوى جدران الخلايا وتمنع انكماشها أو

انهيارها بعد خروج الماء منها . وتتم معالجة الأخشاب بهذه الطريقة بإتباع أحد الأسلوبين الآتيين :

أ- أسلوب كرامر : Kramer Technique

١- توضع الأخشاب فى محلول نشادرى لفوق أكسيد الهيدروجين Hydrogen Peroxide بنسبة ٥ % لمدة أسبوع للتخلص من اللون الأسود الذى يكسوها نتيجة لتكون بعض الراتنجات والتانات Resins and tannins على سطح الأخشاب أثناء وجودها فى الماء أو فى التربة الرطبة .

٢- تغمر الأخشاب بعد ذلك فى حمامات متتالية من الكحول النقى تقريبا (٩٥ %) حتى يتم استبدال الماء بالكحول داخل خلايا الخشب . وقد تستغرق هذه العملية عدة أسابيع .

٣- تغمر الأخشاب فى حمامات متتالية من الأثير الجاف حتى يتم استبدال الكحول بالأثير .

٤- تغمر الأخشاب بعد ذلك فى محلول اثيرى لراتنج الدامار Danumar Resin ويفضل أن يتم ذلك فى جو مفرغ من الهواء لضمان نفاذ محلول الراتنج إلى داخل الخلايا . وتترك الأخشاب بعد ذلك لتجف حيث يتبخر الاثير ويبقى الراتنج (الدامار) داخل الخلايا فيقويها ويمنع انكماشها .

ب- أسلوب كريستنسن Christensen Technuque

١- تغمر الأخشاب فى كحول نقى ٩٥ % بحيث يكون حجم الكحول خمسة أضعاف حجم الأخشاب ، وذلك لمدة يومين على الأقل ، وتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يتم إحلال الكحول محل الماء داخل خلايا الخشب .

٢- تغمر الأخشاب بعد رفعها من الكحول مباشرة فى اثير جاف لمدة يومين مع تكـرار هذه العملية أيضا عدة مرات حتى يتم إحلال الاثير محل الكحول داخل الخشب .

٣- تترك الأخشاب بعد ذلك حتى يتبخر الاثير ببطء فى الجو العادى أو بوضعه فى إنـاء مفرغ من الهواء أحيانا ولكن هذه الخطوة تستعبد إذا كانت الأخشاب ضعيفة .

٤- تغمر الأخشاب بعد جفافها من الاثير فى محلول ٣ % من خلات الفينيل المبلمرة فى البترين لمدة قصيرة فقط .

٥- تغمر الأخشاب بعد الجفاف فى محلول ١٠ % من راتنج الدامار فى الاثير البترولى ، وبعد تشرب الأخشاب تماما بمحلول الراتنج ترفع وتترك لتجف حيث يتبخر الاثـير ويبقى الراتنج داخل خلايا الأخشاب دون حدوث أى انكماش وهذه الطريقـة قـد تؤدى إلى حدوث بعض التقلصات أو الانقباضات فى الأخشاب بعد تبخر الاثـير فى الخطوة الثالثة ، ولكن فى حالة حدوث مثل هذه التقلصات فإنها تكون ضئيلة جـدا ، وذلك لأن الشد السطحى للأثير هو ٠,١٧ داين / س Surface tension = / Cm 17 . 0 وهو قليل جدا بالمقارنة بالشد السطحى للماء وهو ٠,٧٢ داين / سم 0.62 dyne / cm وهى طريقة ناجحة جدا ولكنها مكلفة ، ولذلك فإنها تـستخدم عادة فى حالة القطع الخشبية الصغيرة ذات القيمة الأثرية العالية والتى تكون فى حالـة قوية نوعا ، التى يمكن علاجها بالغمر فى أوانى صغيرة .

٤- طريقة القلفونية الذاتيـة فى الأسـتيون : Rosin dissolved in aceton methed

فى هذه الطريقة يتم غمر الأخشاب أولا فى حمض الهيدروكلوريك ٣,٥ % ، يلى ذلك الغمر فى الاستيون لإحالة محل الماء داخل الخشب ، ثم تغمر الأخشاب فى محلـول مركز القلفونية فى الاستيون (بنسبة ٦٧ %) عند درجة حرارة ٥٢° م حـتى تتـشبع تماما بالمحلول ، ثم ترفع من المحلول وتترك لتجف فى الهواء . وقـد عرضـت الأخـشاب

المعالجة بهذه الطريقة لظروف قاسية من حرارة ورطوبة ووجد أنها تتحمل كل الظروف ، كما وجد أن أبعادها لم تتغير بسبب العلاج ، وعلى ذلك فإن الطريقة تعتبر من أفضل الطرق التى يمكن استخدامها فى علاج الأخشاب المستخرجة من الماء أو من تربة رطبة وخاصة القطع الصغيرة منها .

٥- طريقة البولى اثيلين جليكول : Polyethylene glycol method

أولا : باستعمال التجفيف العادى :

وهذه الطريقة هى أشهر وأكثر الطرق استخدامها حتى اليوم فى علاج وصيانة الأخشاب المغمورة فى الماء ، حيث استخدمت على نطاق واسع - خلال الثلاثين عاما الأخيرة فى علاج أنواع وأحجام مختلفة من الأخشاب المغمورة وعلى الرغم من ذلك فإنها ليست أفضل طريقة على الإطلاق ، ولكنها تعتبر أرخص وأسهل الطرق إذا كان الخشب المعالج عبارة عن أجزاء كبيرة ، أو ليس ذا أهمية فنية كبيرة . وقد استخدمت هذه الطريقة فى علاج وصيانة حطام بعض السفن التى تم انتشالها ، وأهمها وأشهرها السفينة الحربية فاسا Wasa التى تم انتشالها عام ١٩٦١ .

ويمكن إجراء عملية العلاج للأخشاب بالغمر الكامل أو بالرش وذلك تبعا لحجم الأخشاب المعالجة وإمكانية غمرها فى محلول العلاج من عدمه وتتلخص عملية العلاج بهذه الطريقة فيما يلى :

يتم غمر الأخشاب لأولا فى محلول مخفف من حمض الهيدروكلوريك ، ثم فى حمامات متتالية من الاستيون ، وبع ذلك يتم غمرها فى محلول مائى من البولى اثيلين جليكول ٤٠٠٠ PEG 4000 بدءا بتركيز ٢٠ % ثم يزداد التركيز بعد ذلك تدريجيا وعلى فترات حتى يصل إلى ١٠٠ % تقريبا وذلك بإضافة البولى اثيلين جليكول النقى

للمحلول – وتكون درجة حرارة المحلول ٦٠° م طوال فترة العــلاج – وبعــد تــشبع الأخشاب تماما بالمحلول ترفع من المحلول وتترك لتجف تدريجيا .

وقد وجد أن درجة النفاذية لمحلول العلاج (PRG) داخل الأخشاب لا تتعدى ٢ – ٣ مم ، وأن العلاج بهذه الطريقة ولو أنه يعطى نجاحا ظاهريا إلا أنه لا يحمى الأخشاب تمتما من الانكماش بعد الجفاف كما أنه كلما كانت قطع الأخشاب رقيقة كلما كانــت فرص النجاح أكبر .

ثانيا : باستعمال التجفيف بالتجميد : Freeze drying method

وهذه الطريقة قد استخدمت منذ عدة سنوات ، وكان أمبروز Ambrose من أول من طبقوها بنجاح فى علاج الخشب المغمور وذلك باتباع الخطوات الآتية :

١- توضع الأخشاب فى محلول مائى ١٠ % للبولى اثيلين جليكــول ٤٠٠ PEG 4000 مضافا إليه مبيد فطرى مثــل Tetrahydrate Sodium Salicylanilide بنسبة صغيرة ، وتترك الأخشاب فى هذا المحلول حتى تتشبع تمامــا وتــستغرق هــذه العملية مدة تتراوح بين ١٢,٣ شهر ، وذلك حسب حجم الأخشاب .

٢- بعد ذلك تجمد الأخشاب عن طريق وضعها فى مسحوق ثانى أكسيد الكربــون الصلب CO_2 (وتجدر الإشارة إلى أن وجود البولى اثيلين جليكول داخل الأخشاب يمنع تكون حبيبات كبيرة من الثلج والتى يمكن أن تضر الأخشاب عند تجمده) .

٣- بعد تجمد الأخشاب يتم لفها فى رقائق الألومنيوم Aluminium Foil مع عمل بعض الثقوب بها لتساعد على خروج بخار الماء من الأخشاب ، ثم توضع الأخشاب فى غرفة أو خزانة التجفيف والتى يتم تفريغها من الهواء وتترك بها الأخشاب حتى تجــف ببطء تحت التفريغ Drying under vacuum حيث يتحول الماء من ثلج متجمد صلب الى بخار ماء مباشرة دون المرور بالمرحلة السائلة فيما يعرف بعمليــة التــسامي

Sublimation ، وبذلك نتجنب الشد السطحي للماء والذي يمثل السبب الرئيسي لانكماش وتلف الأخشاب عند استخلاصة فى الحالة السائلة .

٤- تستخرج الأخشاب بعد جفافها وتزال رقائق الألومنيوم وتترك الأخشاب فى درجة حرارة الغرفة لاستكمال عملية التجفيف وتوزان الرطوبة النسبية داخل الأخشاب مع الرطوبة النسبية فى الجو المحيط .

وهذه الطريقة لا تسبب تغير لون الخشب ، إلا أن الأخشاب المعالجة بها تصبح خفيفة الوزن ، كما أنها تمتص الرطوبة من الجو مما يؤدى إلى تشققه وانفصال سطح الأخشاب .

وقد قام جيبرسن Jespersen بتطبيق هذه الطريقة أيضا ولكن بأسلوب آخر يختلف عن أسلوب أمبروز حيث أنه استخدم محلولا من البولى اثيلين جليكول ٤٠٠٠ PEG 4000 فى الكحول البيوتيلى الثلاثى - بدلا من المحلول المائى للبولى اثيلين جليكول ٤٠٠ - وذلك بعد إحلال الكحول البيوتيلى الثلاثى محل الماء الموجود فى الخشب .

٦- طريقة البلمرة بالإشعاع :

Polymerization of monomers by Radiation method

وفى هذه الطريقة يتم تشرب الأخشاب بأحد المونومرات مثل الميثيل ميثاكريلات بواسطة عملية تبادل المذيبات ، ثم تعرض الأخشاب لأشعة جاما حيث يتبلمر المونومر داخل الخشب ويؤدى إلى تقويته وعدم انكماشه .

ويتم علاج الأخشاب فى هذه الطريقة بغمرها أولا فى محلول نشادري لفوق أكسيد الهيدروجين ثم فى حمامات متتالية من الكحول النقى - حيث يتم استبدال الماء بالكحول داخل خلايا الخشب - وبعد ذلك تغمر الأخشاب فى مونومر الميثيل ميثاكريلات - حيث يتم استبدال الكحول بالمونومر داخل الخشب - ثم تلف الأخشاب فى ورق الألومنيوم

أو البولى اثيلين وتوضع فى خلية تشعيع معرضة لأشعة جاما (من مصدر كوبالت ٦٠ Co Source) حتى تتم عملية البلمرة ، ثم تجف الأخشاب عند ٦٠ لمدة ٨ ساعات — لإتمام عملية البلمرة — (وفى حالة القطع الكبيرة التى يصعب وضعها فى خلية التشعيع فانه يمكن أن تتم عملية البلمرة للمونومر داخل الخشب بالحرارة) ٠ وقد لوحظ انه يمكن أن ترتفع درجة الحرارة داخل خلية التشعيع أثناء العمل مما قد يؤدى إلى حدوث تلف الأخشاب أو — إلى حد ما — طرد المونومر خارج مسام الخشب ٠

وقد تم إجراء تجارب لبلمرة الميثيل ميثاكريلات فى أمبول زجاجى عند معدلات مختلفة من الجرعة الإشعاعية ومقارنتها ببلمرته داخل الخشب عند نفس المعدلات حيث وجد أن عملية البلمرة داخل الخشب تكون أبطا منها فى الامبول الزجاجي ، كما أن الناتج من البوليمر داخل الخشب يكون اقل٠ وهذا يعنى أن الخشب يقلل من البلمرة الإشعاعية ٠

وقد لوحظ أن نتيجة عملية البلمرة لا تعتمد فقط على ظروف البلمرة ، ولكن تعتمد أيضا على درجة التلف وأبعاد أو حجم الأخشاب ، فقد وجد أن اقل ناتج من البوليمرات يكون فى القطع الصغيرة ذات درجة التلف العالمية ٠ وعند دراسة البلمرة الإشعاعية للميثيل ميثاكريلات فى الخشب المعالج وجد أن زيادة حجم عينات الخشب بعد البلمرة كانت كبيرة بسبب ازدياد نسبة البوليمر فى الخشب ٠ وهذه الخاصية نتجت عن انتفاخ الخشب بمونومر الميثيل ميثاكريلات الذى ينفذ جزئيا بالجدار الخلوي ، حيث يتبلمر ويمنع الانكماش العكسى فى الخشب بعد ذلك ٠ كما وجد أن الثبات الهيجروسكوبى وثبات الأبعاد للأخشاب المعالجة يحدث عند ٩٨ % رطوبة نسبية ، وتزداد هذه الصفات بزيادة محتوى البولمير فى الخشب ، كما أن قوة الضغط فى اتجاه الألياف لهذه الأخشاب تزداد أكثر مع زيادة محتوى البوليمر فى الخشب أيضا ٠

وبصفة عامة فقد وجد أن علاج الخشب المغمور بمونومر الميثيل ميثاكريلات المتبلمر بأشعة جاما يعطى نتائج جيدة ، حيث انه يؤد إلى ثبات أبعاد الأخشاب إلى حد ما ، ولكن تزداد هشاشيتها ، وذلك لان الأشعة العالية تؤدى إلى تلف الأخـشاب • فالإشـعاعات ذات الطاقة العالية تؤدى إلى شطر كربوهيدرات لجنين الخشب لأنها تتكون من روابـط عريضة Cross – Linking وقد أثبتت التجارب أن الهيميسليولوز أكثـر حـساسية للتحلل بالأشعة يليه السليولوز ، أما اللجنين فهو أكثر المركبات مقاومـة للإشـعاع ، ويرجع ذلك إلى مجموعاتها الاروماتية التى تحمى الكربوهيدرات من التحلـل بالأشـعة • وقد اعتبر ثبات أبعاد الأخشاب المعالجة بهذه الطريقة نتيجة لاندماج Grafting بـوليمر الميثيل ميثاكريلات مع اللجنين وليس مع عديدات التكسر لجدار الخلية •

٧ – طريقة السكروز : – Sucrose method •

أن الطريقتين الأكثر استخداما تقريبا فى الوقت الحاضر لعلاج كميات كبيرة مـن الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطمورة فى تربة رطبة هما : طريقة البولى اثيلين جليكـول وطريقة القلفونية ، وكل منهما ذات معالجات فعالة ولكنهما مكلفتان خاصـة لأحجـام الكبيرة من الخشب • كما أن جميع الكيماويات أو المواد التى تستخدم حتى الان تقريبـا لعلاج وصيانة تلك الأخشاب غالية الثمن ومكلفة خاصة فى الأقطار التى تسنورد هـذه المواد ، ولذلك فقد كان من الضرورى إيجاد بدائل رخيصة لهذه المواد • وقـد أجريـت بعض التجارب والاختبارات لعلاج بعض الأخشاب المستخرجة من مدينة غارقـة مـن القرن ١٧ ، وكذلك عينات من خشب البتولا الأبيض White birch الذى تحلل تحللا كيميائيا حديثا ، وأوضحت هذه التجارب انه يمكن استخدام السكر لتثبيـت أو حفـظ توزان الخشب المغمور فى الماء ، حيث إن الأخشاب المعالجة بالـسكر بلغـت مقاومتـها للانكماش حوالى ٨٧ % ، كما أن لونها كان طبيعيا تقريبا ، وبفحص هذه الأخـشاب

بالميكروسكوب الضوئى Light mictoscope والميكروسكوب الالكترونى الماسح – Scanning electron microscope لوحظ اختراق أو تخلل السكر وتضخمه (بلورته) داخل خلايا الخشب المعالج . وأثبتت نتائج هذه التجارب أن هذه الطريقة مامونة واقتصادية ومضمونة إذا طبقت بدقة لصيانة الأخشاب المغمورة فى الماء والمطمورة فى تربة رطبة . واستخدام السكر لتثبيت أبعاد الخشب ليس فكرة جديدة ، فهو اختراع مسجل بتقرير مشترك من كل من : " وليام باول William powell " وتيمان Tiemann " (انجلترا ١٩٠٤) ، حيث كانت تجربة بأول هى التجربة الأولى ، وكان من نتائجها انه قد لوحظ أن محلول السكر ذو اثر فعال ومفيد فى انخفاض أو تقليل الانكماش للخشب المعالج ، كما أن تجارب تيمان باستخدام محلول السكر ٤٢ % فى الماء وزن / حجم (42 % w / v) أوضحت أن السكر اخترق الخشب اللين بسرعة لمعظم الأنواع ، وأنواع قليلة من الخشب الصلب أيضا ، وقلل انكماش الخشب المعالج . وكذلك فقد قام " ستام Stamm (فى عام ١٩٣٧) باستخدام السكر لمنع انكماش الخشب ، وقد وجد أن السكروز يتضمن تقريبا كل الصفات أو الخصائص المثالية التى تجعله وسيلة جيدة لحفظ الأخشاب ومنعها من الانكماش ، فهو لا يتآكل ولا يتطاير وغير سام ، كما أنه مادة عكسية أو استراجاعية Reversible وذلك لقابليته للذوبان فى الماء بسهولة ، وقد وأجريت تجارب أيضا لعلاج سفينة الفاسا بالبولى اثيلين جليكول ١٠٠٠ ، وكلوريد الصوديوم ، والسكروز ، وكان نتائجها أن السكروز أكثر هذه المواد إيجابية فى منع انكماش الأخشاب .

والهدف من هذه التجارب هو توضيح مدى إمكانية استخدام السكر كبديل قابل للتطبيق فى معالجة الأخشاب المغمورة فى الماء أو المطورة فى تربة رطبة ، وربما تصبح أكثر أو أحسن الطرق التى يمكن اختيارها لعلاج هذه الأخشاب نظرا لمميزاتها أو خصائصها السابقة ، كما أنها أيضا طريقة غير مكلفة . والأساس النظرى لاستخدام السكروز فى

علاج هذه الأخشاب هو أن جزئ السكروز يتكون من وحدة جلوكوز ووحدة فركتوز . والوزن الجزيئى له هو ٣٤٢,٣ ، ولذلك فإن له قدرة نفاذ مساوية تقريبا للبولى اثـيلين جليكول ذات أقل وزن جزيئى مثل PEG 300 , PEG 400 . وهناك احتمال كبير أن السكروز عندما يخترق جدران الخلايا فإن يكون روابط مع السليولوز والمواد العضوية الأخرى ببقائه فى الخشب المتحلل حيث أنه من المرجح أن كل من جزيئات سليولوز جدران خلايا الخشب وجزيئات السكروز ترتب نفسها بطريقة تشبه طريقة ارتباط الهدروجين والمقدار الصغير من الطاقة الضرورية لهذا النوع من الارتباط يكون متوافرا فى محلول السكروز الساخن أثناء العلاج (٥٠° م) .

والتناقص فى المحتوى المائى للخشب المعالج بزيادة نسبة السكروز (كما هو موضح فى الجدول التالى) يعدم الارتباط المقترح أو المحتمل ، فالخشب يكون هيجروسكوبيا بسبب مجموعات الهيدروكسيل المتعددة على طول سلسلة السليولوز ، وعندما يتحلل الخشب فإن أكثر هذه المجموعات يمكن أن ترتبط بالأكسجين الجوى . وإذا كون السكر روابط هيدروجينية مع مجموعات الهيدروكسيل الموجودة فى الخشب فإن عدد مجموعات الهيدروكسيل التى يمكنها الارتباط بالرطوبة الجوية تكون قليلة ، مما يؤدى إلى تناقص الهيجروسكوبية للخشب المعالج .

جدول يوضح العلاقة بين محتوى السكر و الهيجروسكوبية فى الخشب المعالج :

تركيز محلول العلاج %	نسبة السكروز فى الخشب %	المحتوى الرطوبي للخشب
١٠	٢٦	٦,٥
٢٠	٤٦	٥,٢
٣٠	٥٢	٤,٣
٤٠	٥٩	٦,٣
٥٠	٥٣	٥,٥
٦٠	٨٩	٥,٢
٧٠	١٠٥	٣,٦
٨٠	١٢١	٣,١
٩٠	١٤٣	٣,٠
١٠٠	١٤٨	٤,٦
٢٥٧ (مشبع)	١٥٥	٤,٥

ومع أن بقاء الخشب مغمورا أو مطمورا لمدة طويلة يؤدى إلى تحلل وانهيار السليولوز ، ثم تزال نواتج التحلل بفعل المياه تاركه هيكلا من اللجنين ، فإن هناك آراء بأن نجاح العلاج بالسكروز لا يعتمد كلية على الارتباط بين السكروز والسليولوز ، ولكن تأثير انتفاخ أو تبلور حبيبات السكر داخل الخلايا سوف يمنع انكماش الأخشاب حتى فى غياب الارتباط .

ويتم العلاج فى هذه الطريقة بغمر الأخشاب فى محلول مائى للسكروز يتراوح تركيزه بين ١ — ٥ % حسب حالة الأخشاب فإذا كانت شديدة التحلل كان تركيز المحلول أعلى أما إذا كانت فى حالة جيدة إلى حد ما كان التركيز أقل ويضاف إلى هذا المحلول قبل غمر الأخشاب مضاد فطرى مثل Dowicide (sodium of – o – phenyl pheno) بنسبة ١ % ، ومبيد حشرة مثل قلوريد الصوديوم sodium florde بنسبة ١ % والكومارين coumarin (benzopyrono 2 . 1) بنسبة ٠,٠٥

% – حيث أن الكومارين يعطى الخشب طعما لاذعا يمنع الحشرات من إصـــابته وتـــتم عملية الغمر فى درجة حرارة الغرفة ثم ترفع إلى ٥٥٠ م حتى نهاية العلاج وبعـــد ذلـــك يزداد تركيز المحلول تدريجا حتى يصل إلى ١٠٠ % وذلك بالإضافة السكروز الخـــام إلى المحلول وتستمر الأخشاب فى هذا المحلول (١٠٠ %) حتى تتشبع تماما ، ثم ترفع وتترك لتجف تدريجيا .

أعمال الترميم بمنزل المناديلى ١٢هـ /١٨م

أولا مقدمة :

يقع منزل المناديلى بشارع الحاج يوسف يجاوره من اليسار منزل درع بالإضافة إلى بقايا وأنقاض منزل من نفس الفترة غير مدرج بقائمة الآثار.

يضم المنزل واجهتين الرئيسية وهى شمالية التوجيه تطل على شارع الحاج يوسف أما الثانية فهى غربية التوجيه وتطل على شارع الطاحون والذى يقع بأقصى شماله منزل مكى ويقع بأقصى نهايته الجنوبية الواجهة الخلفية الشمالية لمنزل أبوهم وتتكون واجهة المنزل من أربعة طوابق .

ثانيا التخطيط المعمارى للمنزل

اتبع فى التصميم المعمارى لطوابق المنزل الأربعة نظام الثلاث قطاعات

الطابق الأرضى

اشتمل على ثلاث قطاعات شغل القطاع الأول و الشمالى بدركاه يتم الدخول إليها عبر المدخل الرئيسى البارز ويقع بزاويتها الغرب شمالية حجرة السبيل ويقع بالدركاه أربعة مداخل ، الغربى يؤدى إلى حجرة السبيل والجنوبى إلى المخزن والشرقى إلى سلم المنزل أما الأوسط فتشغله درقاعة المخزن ويوجد بحائطها الجنوبى مدخلان يؤديان إلى حجرتين تشغلان القطاع الجنوبى الثالث واسقفهما مغطاة بالأقبية المتقاطعة

الطابق الأول

تكون تصميم العمارة الداخلية من ثلاث قطاعات موازنة لواجهة المنزل الشمالى شغل القطاع الأوسط بالدرقاعة التى تم الدخول عبرها إلى جميع وحدات ذلك الطابق من خلال السلم القائم بالجهة الشرقية بالدرقاعة ويتصدر الدرقاعة دكة خشبية تماثل الأيوان أما سقف الدر قاعة فهو مغطى بقبو متقاطع مخوص الشكل.

أما القطاع الجنوبى الثانى فيشغله بزاويته الغرب جنوبية حجرة تطل على الواجهة الجانبية الغربية من خلال شباكين كما يقع بحائطها الشمالى و الجنوبى دولابى حائط وأهم ما تتميز به تلك الحجرة هو سقفها الخشبى أما القطاع الشمالى فتشغله الحجرة الرئيسية.

أما الأدوار العليا فيتكون كل منها من ثلاثة قطاعات تمتد موازية للواجهة الشمالية ويشغل القطاع الأوسط الدرقاعة بها أيوان خلفة شباكان و القطاع الأول بـه الحجـرة الرئيسية التى الحقت بها خزانة كما يشغل القطاع الثالث حجرة ومرحاضاً بكـل دور ماعدا الدور الثالث الذى يضم حماما بالزاوية الجنوبية الغربية كمـا توضـحه الرسـوم المعمارية للمنزل .

ثالثا ترميم وعلاج زخارف السقف الخشبى

الوصف الزخرفى للزخارف الخشبية

توجد الزخارف الخشبية بسقف الحجرة الجنوبية الغربية بالقطاع الجنـوبى بالـدور الأول علوى حيث تطل على الواجهة الجانبية الغربية من خلال شباكين ،كما يقع بحائطها الشمالى و الجنوبى دولابى حائط وأهم ما تتميز به تلك الحجرة هو سقفها الخشبى و الذى يحتوى تكوينات زخرفية من التصوير الملون عبارة عن دائرتين كبيرتين يحيط بها أربع دوائر صغيرة وهما مكررتين حيث توجد بهما السفن الحربية ومساجد ذات قبات ومآذن وشجر

سرو وتلك التصميمات نفذت على أرضيات من الزهور والأشكال النباتية بالإضـــافة إلى المزهريات التى تحوى باقات زهور اللاللا ، وقد لونت تلك الأشكال بدرجات لونية مـــا بين الأزرق والأحمر و البنى والأخضر والأصفر والأبيض وذلك فى تناسق بديع.

رابعا مظاهر تلف زخارف السقف و الزخارف الجصية بمنزل المناديلى

نظرا لعوامل التلف الفيزيوكيميائية و البيولوجية و الدور البشرى فى تلف زخارف سقف الحجرة الجنوبية الغربية بالدور الأول علوى بمنزل المناديلى شـــكل (١) فقـــد تمثلت مظاهر تلف الزخارف فى :

١- وجود طرطشة جيرية مغطية للإفريز المحيط بالزخارف وأجزاء كثيرة منها وذلك لعدم اتباع القائم بعملية بياض الحجرة للاحتياطات اللازمة لحماية زخـــارف الـــسقف مـــن مكونات البياض لوحة (٢)

٢- وجود طبقة سناج سميكة مغطية الزخارف النباتية بمعظم أجزاء الزخـــارف وزيـــوت متطايرة و مواد دهنية تؤدى إلى التصاق السناج بأسطح الزخارف لوحة (٣)

٣- وجود طبقة معجون سميكة وصل سمكها إلى حوالى ٥ مم وبخاصة فى الأجزاء الشرقية من الزخارف لوحة (٤)

٤- ضياع أجزاء كثيرة من الطبقات اللونية وطبقة البطانة بالأجزاء الشرقية من الزخارف وبأجزاء كثيرة متفرقة منها .

٥- وجود اتساخات ترابية ملتصقة بمعظم أجزاء الزخارف.

٦- انفصال الألواح الخشبية الحاملة للزخارف بالأجزاء الشرقية من اللوحة وذلك لتآكل المسامير الحديدية المثبتة لها .

٧- وجود تآكل بالألواح الخشبية الحاملة للزخارف ونقرها بواسطة العـــصافير وعمـــل أعشاش بها .

٨- وجود انفصال بالألواح الخشبية عن بعضها البعض نتيجة عمليات التمدد و الانكماش لها مما أدى إلى تباعد الألواح عن بعضها البعض مخلفة بذلك شروخ طولية على امتداد وطول الألواح .

٩- تقشر وانفصال أجزاء كثيرة من الطبقة اللونية وضعفها وتفتتها بمجرد اللمس فى أجزاء كثيرة من الزخارف .

١٠- مهاجمة الحشرات للألواح الخشبية الحاملة للزخارف ووجود ثقوب وأنفاق حشرية كثيرة بها مما أدى إلى تشويه مظهرها وضعف متانتها .

١١- مهاجمة الفطريات للألواح الخشبية وخاصة الأجزاء الشرقية ووجود العفن الأبيض.

خامسا : أعمال التسجيل

وقد تم إجراء عمليات التسجيل وذلك للعناصر الزخرفية الموجودة بسقف الحجرة وبخاصة العناصر النباتية والمساجد والسفن الحربية وذلك على ورق بولى اثيلين ثم نقلها على ورق كلك بمقياس ١:١ وذلك للاستفادة منها فى استكمال العناصر الزخرفية المفقودة وذلك استرشادا بالعناصر الزخرفية الموجودة .

كما روعى إجراء عمليات التسجيل بالصور الفوتوغرافية لجميع مراحل العلاج والترميم للزخارف والسقف .

سادسا : مراحل العلاج والترميم

نظرا لتعدد مظاهر تلف زخارف سقف الحجرة الجنوبية الغربية بالطابق الأول علوى بمنزل المناديلى فقد تنوعت المواد والطرق المستخدمة فى علاجها وحمايتها وقد تم ذلك كما يلى :

(١) تركيب السقالات

لإجراء عمليات العلاج والترميم لزخارف سقف الحجرة فقد تم تركيب سقالات معدنية روعى فى أعمال التركيب لها أن تكون مريحة للقائم بعملية الترميم حيث يتم إجراء عمليات الترميم والعلاج المختلفة وهو مستلقى على ظهره وذلك لضمان الراحة والتعايش مع زخارف السقف المتنوعة للعناصر .

(٢) التنظيف الميكانيكى Mechanical cleaning

وقد تم إجراء عمليات التنظيف الميكانيكى بواسطة استخدام مختلف الفرش الخشنة والناعمة والأزاميل والفرر وسكينة المعجون وذلك لإزالة طبقة المعجون السميكة بالأجزاء الشرقية من الزخارف وذلك لتلفها وانفصال أجزاء منها وقد لوحظ تماسكها بقوة مع الحامل الخشبى للزخارف وقد تم إزالتها بدقة وعناية مع مراعاة عدم التأثير على ألياف الألواح الخشبية لوحة (٤) كما تم إزالة الطرطشة الجيرية وذلك من على الزخارف الملونة مع مراعاة عدم التأثير على الطبقة اللونية والتوقف عند حدوث ضرر بها كما تم إزالة أعشاش الطيور المتكونة بفجوات السقف .

(٣) التنظيف الكيميائى

وتبدأ عمليات التنظيف الكيميائى وذلك إذ لم تفلح عمليات التنظيف الميكانيكى فى إزالة الاتساخات الترابية والسناج الملتصقة بالزخارف الملونة وقد تم اختبار حساسية الألوان للمذيبات العضوية المختلفة والماء وتم اختبار الكحول الأبيض والماء والاسيتون وقد لوحظ حساسية الألوان للكحول الأبيض والماء والأمونيا والصابون السائل وعدم تأثرها إلى حد ما للاسيتون لذلك فقد تم تنظيف وإزالة طبقات السناج الملتصقة بالزخارف النباتية الملونة بواسطة مذيب الأسيتون عن طريق بلل موضعى بقطعة من القطن النظيف

وازالة السناج بقطعة أخرى حتى الوصول إلى نتيجة مرضية من إزالة طبقات السناج كما توضحها لوحة (٤) كما تم إزالة الأتربة الملتصقة بنفس الطريقة بمعظم أجزاء زخارف السقف والتوقف عند الإحساس بتأثر المواد الملونة بالأسيتون .

(٤) أعمال التثبيت للألواح الخشبية المنفصلة

وقد تم تثبيت الألواح الخشبية المنفصلة وبخاصة الموجودة بالأجزاء الشرقية من الزخارف وذلك بواسطة مسامير حديدية غير قابلة للصدأ مع الدق على رؤوسها حتى تدفن داخل الألواح فلا تظهر فتشوه مظهر الألواح وقد تم ذلك بكل دقة تطرأ لانخفاض متانة الألواح الخشبية وقد تم تثبيت عدد خمسة ألواح .

(٥) أعمال التطهير ومكافحة الحشرات

نظراً لمهاجمة الحشرات للأخشاب الحاملة للزخارف الملونة بسقف الحجرة وما ينتج عنها من ثقوب وأنفاق أثرت على متانة الخشب ومظهره الجمالى ومن خلال التعرف على أنواع الحشرات الشائعة والمهاجمة لأخشاب منازل رشيد ودورة حياتها ومراحل نشاطها وأطوارها فقد تم عمليات التطهير خلال شهرى يوليو وأغسطس وذلك لنشاط الحشرات الكامنة خلال هذه الفترة وقد تم ذلك باستخدام المبيدات الآتية :

سيدال ٥٠% بنسبة ٢% وهوستاثيون ٤٠% بنسبة ١% فى مذيب الكحول الأبيض

ولما كانت الزخارف الملونة من الضعف وانخفاض المتانة بحيث لا تحتمل احتكاك الفرش بها كما أن استخدام الفرش لا يجدى من الناحية العملية لذا فقد تم إضافة المبيدات بواسطة السرنجات الكبيرة ٢٥سم وذلك من خلال الثقوب الحشرية الظاهرة حتى تمام تشبع الألواح الخشبية الحاملة .

(٦) مقاومة العفن الأبيض

وقد تم مقاومة العفن الأبيض الموجود بالأجزاء الشرقية من الألواح الخشبية وذلك بواسطة محلول من الكحول الأبيض والفورمالين ٤٠% وتم إضافته بواسطة السرنجات الكبيرة .

(٧) التقوية المبدئية

نظرا لتأثير طبقة الألوان و البطانة و السقف الخشبى الحامل بعوامل التلف المختلفة وما أدت إليه من انفصال أجزاء كثيرة من طبقة الألوان و البطانة بالإضافة إلى ضعف الألياف وكثرة الثقوب و الانفاق الحشرية مما أدى إلى ضعف الخواص الفيزيوميكانيكية لهم مما استوجب إجراء عملية التقوية المبدئية وذلك لتحسين تماسكها وذلك باستخدام مادة الأديكون المخففة بمذيب الأسيتون بنسبة ١: ٣ وقد تم ذلك أربعة مرات روعى أن تكون المدة البينية بين كل مرة يوما واحدا وذلك بفرشاه ناعمة وقد لوحظ بعد الانتهاء من التقوية المبدئية ثبات الطبقة اللونية وتماسكها بالحامل الخشبى وقوة ألياف الخشبة ومتانتها .

(٨) ملئ الثقوب والشروخ و الفجوات

نظرا لوجود زخارف السقف على ألواح خشبية طولية ونتيجة التغيرات اليومية و الموسمية و السنوية فى العوامل الفيزيوكيميائية وما ينتج عنها من عمليات التمدد والانكماش لألياف الخشب المصاحبة لتلك التغيرات مما أدى إلى انفصال الألواح الخشبية عن بعضها البعض وكذلك وجود الفجوات المتخلفة عن سقوط العقد الخشبية بالألواح وكذلك نقر الطيور لبناء أعشاشها مما أثر على المظهر الجمالى و التماسك التركيبى للألواح كما أن عملية ملئ الفجوات و الشقوق ذات أهمية كبيرة فى العلاج والصيانة

وذلك لأنها تمنع زيادة التلف نتيجة لتفتت حواف هذه الفجوات و الشقوق كما أنها تكون أرضية متصلة يمكن إجراء عملية الرتوش عليها بالطريقة التى تبرز جمال الزخارف وقد تم إجراء عمليات سد الثقوب و الشروخ و الفجوات بواسطة معجون يتكون من :

سبيداج : زنك : أكوستيك : مستحلب خلات الفينيل المبلمرة

١ : ١ : ,٥ : ,٥

وقد روعى فى المعجون المستخدم للملئ أن يكون قوى وخواصه الطبيعية متناسبة مع الخواص الطبيعية للمواد المجاورة حتى يلتصق معها جيدا وسهولة تشكيله و تسويته وإزالته وسهولة تلوينه بما يتناسب و المواد الملونة التى سوف يتم استخدامها ،كما أن مواده ثابتة و لا تتغير خواصها أو تركيبها الكيميائى بمرور الوقت وقد تم ملئ الشروخ به عن طريق تحديد الشروخ ووضع شرائط لاصقة على جانبى الشرخ وذلك لملئ الشرخ فقط دون تلويث وإتساخ الطبقة الملونة على جانبى الشروخ كما فى لوحة (   )

وقد تم استخدام ألياف الكتان لملئ الفجوات العميقة كما هو متبع لسد الثقوب و الشروخ و الفجوات للمراكب بما يسمى (قلفته) وذلك بواسطة سكين المعجون والأزميل وبعد ذلك تم إعطاء أكثر من طبقة من المعجون روعى أن تأخذ طبقة المعجون فترة قدرها يومان حتى تمام الجفاف ثم إجراء تنعيم وتسوية السطح وإعطاء طبقة أخرى فى حالة وجود شروخ شعرية.

كما روعى فى حالة وجود العقد الخشبية روعى وضع قطعة خشب صنوبر بنفس المقاسات و إدخالها بالزنق مع استعمال مادة لاصقة وهو الغراء الأبيض .

(٩) استكمال الأجزاء المفقودة للزخارف

بعد إجراء عملية سد الثقوب و الفجوات والشروخ وطبقة البطانة وسحب طبقة الأرضية بنفس المعجون السابق وتسوية سطحها و التأكد من تمام جفافها تم عمل طبقة

البطانة وذلك باستخدام أكاسيد ملونه مناسبة لإعطاء الدرجة اللونية المطلوبة وذلك بتخميرها فى مذيب الأسيتون لمدة يوم كامل وإضافة مادة الأديكون المخففة بالأسيتون بنسبة ١: ٣ وذلك لشفافيتها وعدم تأثيرها على الدرجة اللونية وإعطاء تماسك لحبيبات الأكاسيد الملونة وقوة التصاقها مع السطح الخشبى وقد تم ذلك على وجهين لإعطاء التغطية اللونية المطلوبة وتم تركها لمدة يومان .

وبعد إجراء عمليات التسجيل للزخارف النباتية والمساجد والسفن الحربية وجميع مفردات التكون الزخرفى وعمل استكمال للأجزاء المفقودة من الزخارف على ورق كلك بمقياس ١:١ إسترشاداً بالوحدات الزخرفية الأثرية صورة (١)

تم تنزيل زخارف المناطق المفقودة بواسطة الأكاسيد الملونة وتم إجراء عمليات الاستكمال للطبقة اللونية وذلك عن طريق تخمير الأكاسيد الملونة بنفس درجاتها اللونية المطلوبة فى مذيب الأسيتون لمدة يومان ثم إضافة مادة الأديكون المخففة بمذيب الأسيتون بنسبة ١: ٣ صورة (٣)

وبعد الانتهاء من استكمال الزخارف الملونة بالمناطق المفقودة تم عمل باتينا لها وذلك لإعطاء تجانس وتناغم ما بين الزخارف الملونة المستكملة و الزخارف الملونة الأصلية وذلك عن طريق إضافة أكاسيد ملونه بنية وسوداء بدرجات خفيفة جدا وذلك فى مادة الأديكون المخففة بمذيب الأسيتون بنسبة ١: ٣ وقد يكون مجرد تعكير للمحلول فقط بنسبة من الأكاسيد الملونه السابقة مع إضافتها بالفرشاه على أكثر من وجه وذلك لإعطاء التجانس و التناغم المطلوب وقد روعى فى ذلك منتهى الدقة و الحرص و العناية وذلك لحساسية هذه المرحلة .

(١٠) عملية العزل

بعد الانتهاء من مراحل الاستكمال للزخارف الملونة لسقف الحجرة ولزيادة مقاومة المواد الملونة للظروف البيئية المحيطة وزيادة تماسكها فقد تم استخدام مادة الأديكون

المخففة بمذيب الأسيتون بنسبة ١:١ وذلك لإجراء عملية العزل لها وإضافة رونق جذاب جمالى للزخارف بما قد تقوم به هذه الإضافة كورنيش تحسن من رؤية الزخارف وتزيد من جمالها و وضوحها وهذه العملية تتم بمنتهى الحرص والاهتمام وذلك حتى يمكن تلافى تشويه العناصر الجمالية بالزخارف لاختلاف المواد الملونة بها ودرجات مساميتها وامتصاصها وبالتالى درجات البريق و اللمعان بسبب اختلاف سمك طبقة الورنيش وعدم استواء سطح الزخارف ونظرا لاستخدام مادة الأديكون الشفافة عديمة اللون وخواصها الفيزيوميكانيكية فقد أعطت نتيجة مرضية وذلك لثباتها وعدم تغيرها وتأثيرها على الدرجات اللونية للزخارف .

ترميم دولاب الأغانى بمنزل فرحات ق ١٢هـ /١٨م

أولا :نبذه تاريخية عن المنزل

كان منزل فرحات يتوسط مجموعة معمارية تطل على شارع دومقسيس و الـــذى يصل شرقا إلى شارع جسر البحر المطل على نهر النيل وينتهى غربا بشارع المحلى وكـــان يقع على يمين منزل فرحات شرقا منزل محمد الشامى ثم منزل العرابى الذى يقـــع خلـــف منزل محمد الشامى جنوبا وعلى يسار منزل فرحات غربا كان يقوم كل من منزل عنـــان ومنزل وعلى حمدتو وكان ذلك مسجلا بخريطة أثار رشيد حتى عـــام ١٩٤٩م ولم يتبـــق قائما حتى الآن من تلك المجموعة غير منزل فرحات .

يتكون منزل فرحات من أربعة طوابق تطل من خلال واجهة رئيسية شمالية التوجيه كما أنه يطل أيضا بواجهة خلفية جنوبية التوجيه مكونه من ثلاث طوابق مطلة على شارع خلفى .

ثانيا التخطيط المعمارى للمنزل

يتكون الطابق الأرضى كما يوضح المسقط الأفقى له من مخزن الدخول إليه عـــبر مدخل شرقى ذو الكتلة البارزة و الذى يفضى إلى دركاه مـــستطيلة ذات ســـقف مـــن القبوات المتقاطعة و المرتكزة على أربعة أكتاف يتم عبرها الدخول إلى درقاعة مقسمة إلى قسمين وذلك بواسطة عقدين مدببين قائمين على عمود جرانيتى ويوجد فى شرق الدرقاعة أربعة درجات متبقية من سلم اندثر وكان يوصل إلى الدهليز الطابق الأول حيث تـــؤدى الدرقاعة إلى حجرتين يتم الدخول إليهما عبر بابين بعقدين ويتوسط حجرة السبيل .

و تتكون العمارة الداخليـــة

من ثلاثة قطاعات شغل أوسطها بالدرقاعة و التى يتم مـــن خلالهـــا

الدخول لكل طابق ثم القطاع الشمالى و تشغله بالزاوية الشمال شرقية الحجرة الرئيسية و التى تطل على الواجهة من خلال شباكين يعلوهما ثلاث مناور.

وملحق بتلك الحجرة الرئيسية (خزانه) تقع بالزاوية الشمال غربية أما القطاع الجنوبى الثالث فتشغله حجرة ومرحاض.

ويتكرر ذلك بالعمارة الداخلية للطابق الثانى فيما عدا توسط سقف درقاعته فتحة مربعة الشكل و أما الطابق الأخير يمثل المقر الصيفى لقاطنى المنزل وكان يعرف بالحضير وتشغله حجرتان فوق القطاع الشمالى بالطابقين السابقين وبنفس مساحتهما .

ويشغل الحجرة الرئيسية الشاغلة للزاوية الشمال شرقية بذلك الطابق ومطلة على الواجهة الرئيسية من خلال شباكين يعيرهما ثلاث مناور .

ويشغل حائطها الجنوبى دولاب أغانى يتم الدخول عبره إلى داخل الحجرة .

ثالثا : الوصف الزخرفى لدولاب الأغانى

كان يطلق على دواليب الأغانى كلمة الأغانيات وقد ذكر درويش وأبو طالب أنها قد سميت بذلك نسبة إلى أنها تنفذ لتستر ما خلفها لا سيما المشاهدات من نساء المنازل للحفلات الموسيقية ، إلا أن هذه التسمية قد يكون إطلاقها على الدولاب نظرا لغناه الفنى والزخرفى أو أنه مصنوع لطبقة الأغنياء أما انتسابه لكلمة أغانى وهى الحفلات الموسيقية فلم تكن من الكثرة بحيث ينسب الدولاب إليها وذلك لتمسك أهالى رشيد بالدين وهو ما أثر على التصميم المعمارى والفنى لمنازلهم وعمائرهم الدينية ، كما أن إقامة الحفلات أولى بإقامتها فى الدور الأول وما به من حجرة الاستقبال ولكن يرجح من خلال التعايش مع أهالى رشيد وطبائعهم أن هذه الدواليب فد خصصت لضم أمتعة الساكن ومستلزماته وقد خصص الجزء العلوى فيها لتخزين ما يفيض عن حاجته ولذلك فلم يراعى زخرفته من الخلف .

وكانت دواليب الأغانى التى انتشرت بجميع المنازل على حد السواء قـد تميـزت بشغلها واجهة حائط كاملة ويتوسط كل منها مدخل يؤدى إلى الحجرة .

ويعتبر دولاب الأغانى بمنزل فرحات الدولاب الوحيد الباقى بالمنزل وهو يتكون من جزئين الجزء العلوى مشغول بالخرط الميمونى المربع المائل حيث نلاحظ انقسامه إلى جزئين كبيرين بكل جزء أربعة خوخات كما فى شكل (٨) يقع فى منتصف زخرفـة نباتيـة ملونه عبارة عن أبريق يخرج منه فروع نباتية بها أوراق و وريدات كمـا فى الـصورة ( ).

كما يوجد على الجانبين الأيمن و الأيسر زخارف نباتية ملونه عبارة عـن دوائـر ووريدات مكررة وهما متماثلتين.

ويعلو الجزء العلوى من الدولاب خورنقات مكررة يعلوها إفريز من الزخـارف النباتية عبارة عن فروع نباتية و وريدات و أوراق مكررة .

أما الجزء السفلى من الدولاب فعبارة عن فتحة كبيرة يتم الدخول عبرها إلى أعلى الدولاب على جانبيها الأيمن و الأيسر فتحتان عليها ضلف خشبية تحيط بها الخورنقـات يوجد أعلاها تنده خشبية تسمى الطربوش و أسفلها أربعة خزائن .

رابعا : مظاهر تلف دولاب الأغانى

١- ضياع معظم الجزء السفلى من الدولاب وبخاصة معظم الضلف الخشبية و الخـزائن السفلية لوحة (٩)

٢- فقد أجزاء كبيرة من الخرط الميمونى المربع المائل بالجزء العلوى من الدولاب .

٣- ضياع أجزاء كثيرة من الخورنقات العليا وحول الفتحات بالجزء السفلى .

٤- مهاجمة الحشرات وبخاصة الجزء السفلى وما نتج عنها من ثقوب وأنفـاق وتحـول معظم الأجزاء الخشبية أو الهيكل الخشبى الداخلى لبودرة وذلك نتيجة الحشرات الساحقة

و التى تم التعرف على أنواعها مما أدى إلى هشاشية الجزء السفلى وتحطمه تماما بمجرد اللمس .

٥- ضعف الجزء العلوى للدولاب بسبب المياه المتسربة من السطح وما تبع ذلك من وجود العفن البنى والأبيض به وما إدى إليه من انخفاض فى الخواص الميكانيكية له وتحول اليافه إلى ما يشبه القطن وضعفها تماما .

٦- ضياع أجزاء كثيرة من الأفريز العلوى و المحتوى على زخارف نباتية ملونة بسبب تسرب مياه الأمطار إليه .

٧- وفقد أجزاء كثيرة من الطبقة اللونية و البطانة بمعظم الزخارف النباتية الوسطى لوحة (.)

٨- وجود إتساخات ترابية على الزخارف النباتية الوسطى لوحة (٩)

٩- وجود إتساخات عبارة عن طرطشة أسمنتية وجيرية على الزخارف النباتية الجانبية وزخارف الخرط لوحة (٩)

١٠- فقد كل الخوخ وعددها ثمانية بالجزء العلوى من الدولاب لوحة (١١)

خامسا : التسجيل المساحى و الزخرفى

وقد تم إجراء عمليات التسجيل المساحى للدولاب قبل بدء عملية الترميم وذلك بمقياس رسم ١ : ٢٠ سم ، كما تم التسجيل الزخرفى لكل الزخارف النباتية الموجودة بالدولاب وهى الإفريز العلوى و الزخارف الجانبية و الوسطى وذلك على ورق بولى إثيلين لوحة (٨) ثم على ورق كلك بمقياس رسم ١:١ وذلك لتسجيل حالة الزخارف قبل إجراء عمليات الترميم و العلاج وكذلك عمل الرسومات النباتية للمناطق المفقودة أسترشاداً بالوحدات الزخرفية الأثرية.

سادسا خطوات الترميم و الصيانة

١- تركيب السقالات

نظراً لكبر مساحة الدولاب حيث يتراوح طوله ٥,٦٠م و ارتفاعه ٤,٢٠م فقد تم تركيب سقالات معدنية على واجهته وذلك لإجراء عمليات الترميم و الصيانة له

٢- فك الدولاب

نظرا لتلف الهيكل الخشبى الحامل للدولاب بالجزء السفلى له بسبب مهاجمة الحشرات وكثرة الثقوب والأنفاق وتحول معظمها إلى بودرة مما أدى إلى ضعف متانة الهيكل الخشبى فقد وجب إجراء عملية فك له لإستبدال الأجزاء التالفة منه بأخرى سليمة من نفس نوعية الخشب صورة (١٤) .

وقبل عملية فك الجزء السفلى من الدولاب تم عمل صلب له وذلك لتجميل الجزء العلوى على قوائم رأسية وأفقية بما يعرف بالصلبة الرأسية وذلك باستخدام قوائم قطاعها 4" × 4" عددها ثلاثة قوائم ، وقد تم فك الجزء السفلى بأكمله أما الجزء العلوى فقد ترك لمتانته نوعا ما وعدم مهاجمة الحشرات له لوحة (٩-١)

وقد روعى فى عملية الفك الدقة و العناية وذلك حتى لا تتأثر العناصر الخشبية المكونة للجزء الظاهرى من الجزء السفلى الخورنقات و الضلف الخشبية و الألواح الخشبية السليمة .

وقد تم فرز ناتج الفك و تشوين الأجزاء الخشبية السليمة مع استبعاد الأجزاء الخشبية التالفة جدا و المكونة معظمها للهيكل الخشبى لوحة (١٣).

٣- التنظيف الميكانيكى Mechanical cleaning

يعتبر التنظيف الميكانيكى من أهم مراحل الترميم وذلك لأن نجاح الترميم فى النهاية على أكمل وجه يعتبر نجاح لعمليات الترميم الأخـرى وذلـك لأن هـدف التنظيـف الميكانيكى هو إزالة الأتربة و الاتساخات وكافة المواد الغريبة وغير الأصلية و التى يترتب على وجودها الإضرار بالقيم الجمالية و الفنية للدولاب وكذلك التأثير علـى التماسـك التركيبى لأجزائه المختلفة .

وتم تنفيذ التنظيف الميكانيكى باستخدام المشارط و الفرر وسكينة المعجون وكذلك الفرش الخشبية و الناعمة وذلك لإزالة الطرطشة الجيرية والأسمنتية والأتربة المتراكمة على الأجزاء العليا من الدولاب وبخاصة الزخارف النباتية الملونة الموجودة بـأعلى الـدولاب وعلى جانبيه وكذلك الزخرفة النباتية الوسطى وأيضا على الزخـارف الخـرط و كمـا توضحها اللوحات (   )

وقد تم إجراء عمليات التنظيف الميكانيكى من أسفل لأعلى مع مراعـاة الدقـة و الحذر وذلك حتى لا تتأثر الطبقة اللونية الموجودة أسفل الطرطـشة الجيريـة والأتربـة والاتساخات كما روعى إجرائه مع تنظيف الطبقات الرقيقة التى تغطى الطبقة الملونة و تم التوقف عند الإحساس بتأثير التنظيف الميكانيكى بوسائله على الطبقة الملونة.

٤- التنظيف الكيميائى Chemical cleaning

يلجأ إلى التنظيف الكيميائى عند عدم كفاية التنظيف الميكـانيكى فى إزالـة كـل الاتساخات و الأتربة و الطرطشة الجيرية .

ويستخدم فيه مختلف المحاليل و المواد الكيميائية بشرط عـدم ضـررها وتأثيرهـا بالسلب على مواد الأثر ، لذا فقبل استخدام المحاليل و المواد الكيميائية يراعـى عمـل اختبار لبيان حساسية الألوان لهذه المحاليل .

وقد عمل اختبارات حساسية للماء و الكحول الأبيض والأسيتون و الأمونيا فوجد تأثر الطبقة اللونية بالأمونيا والماء لذا فقد تم استخدامها فى تنظيف المناطق الموجود بها زخارف الخرط فقط وعدم استخدامها فى المناطق التى يوجد بها زخارف نباتية ملونه .

ولذا فقد تم إزالة بقايا الطرطشة الجيرية و الأتساخات الترابية الموجودة على الزخارف النباتية بأعلى وعلى جانبى الدولاب علاوة على الزخارف النباتية الوسطى باستخدام محلول مكون من مذيب الكحول الأبيض : الأسيتون بنسبة ١:١ باستخدام قطعة قماش قطنية وتكرارها حتى الوصول إلى نتائج مرضية.

أما الزخارف الخرط و التى لا تحتوى على أى زخارف ملونه فقد تم استخدام المحلول السابق علاوة على استخدام محلول مكون من : -

الصابون السائل ١٠٠جم

الأمونيا ٢٠%

الماء ١ لتر

وبعد إجراء التنظيف الميكانيكى به تم إزالة بقاياها باستخدام الماء فقط المضاف عليه الكحول بنسبة ١:١ وبعد ذلك الماء فقط حتى الحصول على نتيجة مرضية ، وقد روعى أثناء عمليات التنظيف الميكانيكى واستخدام محاليل المذيبات و الماء و الاستخدام الموضعى لها وحتى لا تتأثر ألياف الخشب بمحاليل التنظيف .

٥-التطهير ومكافحة الحشرات

بعد إجراء عمليات التنظيف الميكانيكى والكيميائى وإزالة الطرطشة الجيرية والأسمنتية و الأتساخات الترابية من على السطح الخارجى لأخشاب الدولاب وما عليه من زخارف ملونة ونظرا لضعف أخشاب الدولاب نتيجة كثرة الثقوب والأنفاق الحشرية وتحول بعضها إلى مسحوق لوجود الحشرات الساحقة للأخشاب وبخاصة فى الجزء

السفلى من الدولاب وبعض الميد والعارضات الخشبية وأخشاب الخورنقات بالجزء العلوى لذا فقد تم إجراء عمليات التطهير لمكافحة الحشرات لكل أخشاب الدولاب وذلك مكافحة للأطوار الحشرية الموجودة بأجزاء الدولاب ووقاية الأجزاء الخشبية الأخرى وبخاصة أخشاب زخارف الخرط من مهاجمة الحشرات لها.

وقد تم ذلك باستخدام مبيد سيدال ل٥٠% بنسبة ٢% وهوستاثيون ٤٠% بنسبة ٢% فى مذيب الكيروسين وذلك بفرشاة عن طريق التشرب وذلك أربعة مرات روعى أن تكون الفترة البينية بين كل مرة ثلاثة أيام ، كما تم أيضا إجراء عمليات التطهير للأجزاء المستكملة فى الدولاب وهى الأخشاب المستكملة للجزء السفلى من الدولاب وكذلك زخارف الخرط و الخورنقات و الخوخ وباستخدام نفس المبيدات و المذيب وبنفس الطريقة السابقة .

وهذه العملية تعطى للخشب حماية من تأثير الحشرات لمدة أربعة سنوات .

كما تم تطهير مكافحة الحشرات للألواح الخشبية الحاملة للزخارف النباتية الملونة بأعلى الدولاب وعلى جانبيه وفى وسطه وذلك باستخدام مبيد سيدال ل٥٠ % بنسبة ٢% ومبيد هوستاثيون ٤٠% بنسبة ٢% فى مذيب الكحول الأبيض وذلك لخاصية تطايره العالية مقارنة بمذيب الكيروسين وحتى لا تؤثر خاصية التطاير البطىء لمذيب الكيروسين على الزخارف النباتية الملونة وقد تم ذلك بطريقة التشرب بالفرشاة من الخلف الألواح الخشبية الحاملة.

٦- التقوية الميدانية

بعد الانتهاء من عملية التطهير ومكافحة الحشرات تم ترك الدولاب شهر كامل وذلك للتأكد من جفاف الدولاب وتبخر مذيب الكيروسين بطىء التطاير ونظرا لحالة الضعف الشديد للأخشاب نظرا لتعرضها المستمر لتسرب مياه الأمطار و ما أدت إليه من

إذابة المستخلصات Extractives الموجودة بألياف الخشب و التى تعمل علــى تقويتــها وتماسكها ، لذا فقد وجد أن اللون البنى هو اللون الغالب على أخشاب الدولاب نتيجــة لذلك.

ولإجراء عملية تقوية مبدئية لأخشاب الدولاب فقد تم استخدام مــادة الجملكــا المذابة فى مذيب الكحول المثيلى ٥% وذلك ٥ مرات روعى أن تكون المدة البينية بــين كل مرة يومان وذلك لضمان جفاف وتطاير المذيب وتشرب الخشب بكمية كبيرة مــن المادة المقوية وتغلغلها إلى أعماق كبيرة به وبعد الانتهاء من هذه المرحلة لوحظ تحــسن فى متانة الخشب وتماسك أليافه وذلك فى المناطق الخشبية غير الملونة.

كما تم تقوية الزخارف النباتية الملونة الموجودة بأعلى الــدولاب وعلــى جانبيــه ووسطه نظرا لضعفها وهشاشيتها وانفصال أجزاء كثيرة منها وذلــك باســتخدام مــادة الأديكون الشفافة المخففة بمذيب الأسيتون بنسبة ١: ٣ وذلك ثلاث مرات روعــى أن تكون الفترة البينية بين كل مرة يومان وقد لوحظ تماسك الطبقة الملونة وزيادة التــصاقها بالحامل الخشبى بعد إجراء عملية التقوية المبدئية لها وعدم تأثير المادة المقوية على الدرجات اللونية للزخارف .

٧- استكمال الأجزاء الخشبية المفقودة

وقد تم استكمال الجزء السفلى من الدولاب تبعا للأصول الأثرية و الفنية له وذلك بعد دراسة نظم الأجزاء السفلية لدواليب الأغانى الموجودة بمنازل رشيد واسترشادا ببقايا من الميد الخشبية و الهيكل الخشبى الموجود وبقايا التركيبات الخشبية بالحائط .

وقد تمت صناعته من خشب الصنوبر وهو نفس الخشب المستخدم بالجزء الــسفلى حيث يتم عمل الهيكل الخشبى له مع استخدام الأجزاء الخشبية القديمة السليمة .

وقد تم استكمال الضلف الخشبية و الخزائن السفلية و الخورنقات و الطربوش بنفس مواصفاتها الأثرية مع استخدام طرق التجميع و التعشيق و الوصلات الخشبية بنفس طريقتها بالدولاب و تبعا لأصولها الصناعية الجيدة مع استخدام الغراء الأبيض كمادة لاصقة مع استخدام المفصلات الحديدية الحدادى بنفس مواصفاتها القديمة كما هو موضح باللوحة (   ) و التى تبين مراحل تركيب الهيكل الخشبى و الضلف و الخزائن السفلية و الخورنقات وأجزائها المستكملة .

كما تم استكمال الأجزاء المفقودة من زخارف الخرط و الخوخ و الخورنقات بالجزء العلوى من الدولاب وذلك بنفس مواصفاتها الفنية و الأثرية مع صناعة زخارف الخرط و الخوخ المفقودة من خشب الزان وذلك لجودته ومواصفاته الفنية العالية وبخاصة زخارف الخرط مع استخدام الضلف الخشبية للخوخ من الخشب الصنوبر وقد تم خرط برامق الخرط و الأفرخ بنفس المواصفات الفنية و الأثرية للخرط القديم الميمونى المربع المائل وتم إجراء عمليات الاستكمال للأجزاء المفقودة بنفس طريقة صناعتها وتبعا للأصول الصناعية الجيدة وكما هو موضح باللوحات (١٥، ١٦، ١٧، ٢٨، ٢٩)و التى تبين مراحل عمليات الاستكمال للأجزاء المفقودة من زخارف الخرط بالجزء العلوى من الدولاب واتبع فيها طريقة التعشيق و التجميع باستخدام مادة الغراء الأبيض كمادة لاصقة .

كما تم استكمال الخورنقات الخشبية بنفس الطرق السابقة وتبعا لأصولها الأثرية كما تم استكمال الخوخ الخشبية باستخدام طريقة التجميع و التعشيق واستخدام الغراء الأبيض أيضا كمادة لاصقة مع استخدام المفصلات الحديدية الحدادى تبعا لأصولها الأثرية و الفنية وكما هو موضح باللوحة (٢٠) .

٨- ملئ الثقوب و الفجوات و الشروخ

وتعتبر عملية ملئ الفجوات و الشروخ و الثقوب ذات أهمية كبيرة فى علاج وصيانة الدولاب وذلك لابرازها جمال الدولاب ورونقه كما أنها تحافظ على متانة الدولاب ولذلك لابد أن تكون المواد المستخدمة فى عملية الملء قوية وأن تكون خواصها الطبيعية مناسبة مع الخواص الطبيعية للخشب وسهولة تشكيلها وتسويتها ويسر إزالتها وأن تكون من المواد التى يسهل تكوينها وأن يتميز تركيبها الكيميائى بالثبات وقد تم ملئ الثقوب و الفجوات والشروخ باستخدام معجون مكون من :

سبيداج : زنك : أكوستيك : مستحلب خلات الفينيل المبلمرة

١ : ١ : ,٥ : ,٥

مع إضافة الماء للحصول على تشغيل جيد للمعجون مع استعمال الأكاسيد الملونة المناسبة " البنية " وذلك لتلوين المعجون والحصول على سطح متجانس بين طبقة المعجون وسطح الخشب المجاور كما تم استخدام ألياف الكتان وذلك لسد الشروخ والفجوات العميقة كما هو متبع فى أعمال المراكب (قلفته) وذلك باستخدام سكينة المعجون مع دق ألياف الكتان بها و التغطية بالمعجون بعد ذلك مع استخدام أكثر من طبقة على فترات متباعدة للتأكد من جفافها وتسويتها ورفع الشرائط اللاصقة بعد ذلك .

٩- استكمال الزخارف الملونة النباتية المفقودة

وبعد إجراء عمليات التسجيل للزخارف النباتية الموجودة بأعلى الدولاب الممثلة فى الإفريز النباتى وكذلك الزخارف الجانبية و الوسطى بالدولاب وذلك على ورق كلك بمقياس ١ :١ وبعد استكمال الأجزاء المفقودة تبعا للأصول الفنية والأثرية واسترشاداً بالوحدات الأثرية الباقية بالزخارف وبعد تجهيز رسومات الزخارف للأجزاء المفقودة بعد عمل البطانة لها من أكاسيد ملونه بعد خلطها مع بعضها البعض للحصول على الدرجات

اللونية المطلوبة وهذه الأكاسيد الملونة عبارة عن أكاسيد طبيعية وصناعية موجودة بالمجلس الأعلى للآثار وقد تم تخميرها بمذيب الأسيتون وبعد يومين أضيف لها مادة الأديكون بنسبة ١ : ٣ وذلك كمادة سواغ أو وسيط لها لتميزه بالشفافية وعدم تأثيره على الدرجات اللونية المختلفة للأكاسيد وقوة لصقه الجيدة وبعد عمل البطانة بالفرشاة على وجهين تم تنزيل رسومات الزخارف عليها بعد جفافها.

وقد تم تكون الزخارف النباتية والأوراق و الوريدات والأفرع النباتية تبعا لدرجاتها اللونية القديمة مع مراعاة عدم تغطية الألوان القديمة بل يتم ملئ الزخارف المفقودة فقط بالأكاسيد الملونة وذلك لإعطاء تجانس فى اللون بين الأجزاء المستكملة والأجزاء الملونة الأثرية لوحة (٢١)

وبعد إجراء عمليات الاستكمال للأجزاء المفقودة من الزخارف النباتية الملونة بنفس الألوان المستخدمة فى تكوينها وهى الألوان الأخضر والأصفر و الأبيض و البنى المحمر والأسود.

تم إجراء عملية باتينا للأجزاء المستكملة الحديثة من الزخارف النباتية اللونية وذلك باستخدام نسبة قليلة جدا من الأكاسيد الملونه البنية و الصفراء و السوداء مع تخميرها بمذيب الأسيتون لمدة يومان وإضافة مادة الأديكون عليها فى مذيب الأسيتون بنسبة ١ : ٣ وقد روعى فى إضافتها مراعاة حساسية الألوان و الدقة و العناية وذلك لأهمية هذه المرحلة وحساسيتها وتم إضافتها بالفرشاة أكثر من مرة و التوقف عند الشعور بمضاهاة الزخارف النباتية الحديثة و المستكملة مع الزخارف القديمة مع وجود اختلاف طفيف بينهما لا يميزه إلا المتخصص وعند الفحص المظهرى للزخارف عن قرب وباستخدام عدسة مكبرة.

وتبين اللوحات (٢١، ٢٢، ٢٣، ٢٤) مراحل عمليات الاستكمال للزخارف النباتية بأعلى وعلى جانبى الدولاب وفى وسطه .

١٠ – دهان أخشاب الدولاب

نظرا لوجود بقايا ألوان بأخشاب الدولاب وهى ألوان بنى محمر بأخشاب الخرط ووجود لون أصفر محدد للأطر الخارجية للخوخ الخشبية وكذلك بقايا لون عاجى محدد للأطر الداخلية للخوخ الخشبية وأن هذه الألوان مكررة لمعظم العناصر الخشبية بالدولاب وبخاصة فى الجزء العلوى للدولاب أما الجزء السفلى فيقتصر على اللون البنى المحمر ، ولإجراء عملية دهان للدولاب فقد تم اتخاذ هذه الألوان كأساس لتلوين الدولاب استرشادا بها لاستكمال الدهان بأخشابه تبعا لذلك فقد تم تخمير الألوان من أكاسيد ملونة بنية وحمراء وصفراء وبيضاء وذلك باستخدام الأكاسيد الملونة الطبيعة لها وكذلك استخدام أبيض الزنك كمادة ملونة بيضاء وتم تخميرها جميعا للحصول على درجات اللونية المطلوب وذلك فى مذيب الأسيتون وتركها مدة يومان ثم إضافة مادة الأديكون عليها كمادة وسيط أو سواغ Medium وذلك لخصائصه الفيزيوميكانيكية الجيدة وشفافيته و عدم تأثيره على الدرجات اللونية لها وقوة التصاقه بالأخشاب وقد تم إضافته على الأكاسيد الملونه بعد تخميرها بنسبة ١ :٣ فى مذيب الأسيتون وتم إضافته بمختلف مقاسات الفرش الناعمة المناسبة وذلك على الأجزاء الظاهرة و الداخلية للدولاب كما توضحها اللوحات (>>)

وبعد إضافة الأكاسيد الملونة تم تركها مدة أسبوع لتمام الجفاف ثم إجراء عملية باتينا لها وذلك لإعطائها المظهر القديم وذلك عن طريق استخدام الأكاسيد الملونه البنية و السوداء بنسبة قليلة جدا وتخميره فى مذيب الأسيتون وتركه يومان للتخمير وإضافته أكثر من وجه وذلك حتى الحصول على الدرجة المطلوبة وقد روعى فى هذه المرحلة منتهى الدقة و الحرص وذلك لأهمية هذه المرحلة .

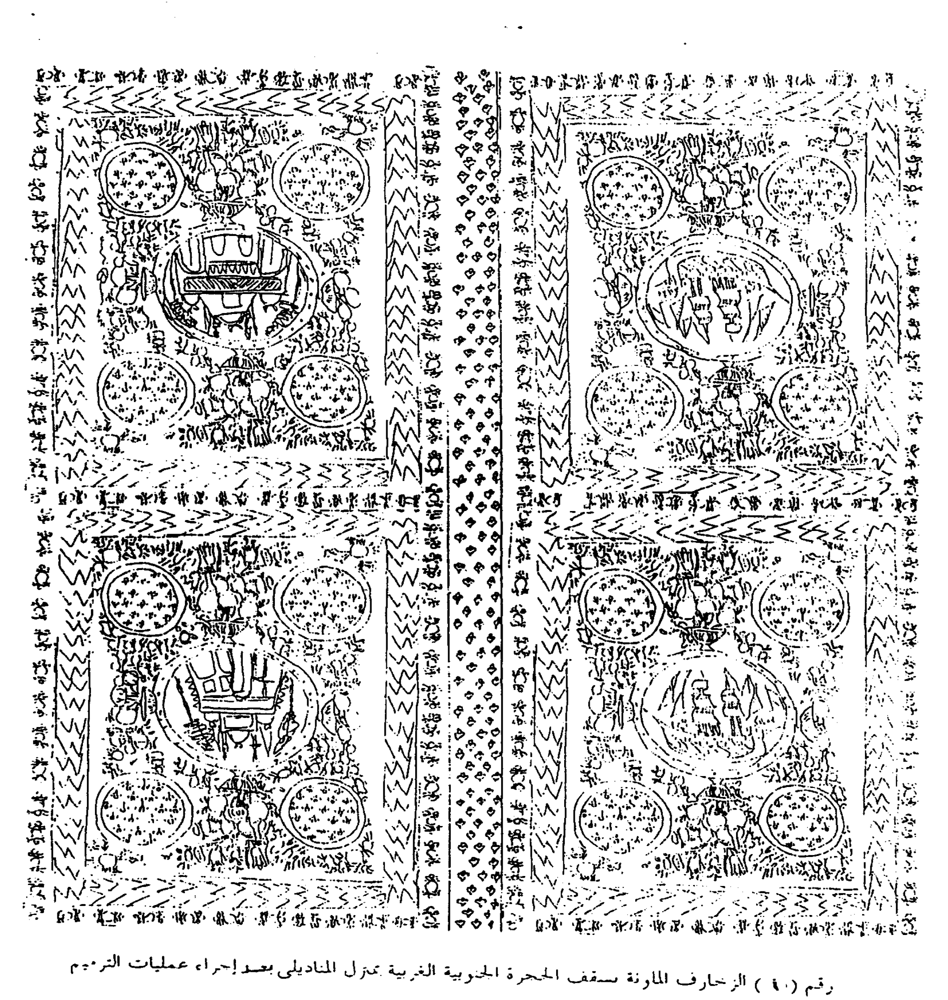
١١ - عملية العزل

بعد الانتهاء من عملية الدهان لأخشاب الدولاب واستكمال الزخـــارف النباتيـــة الملونة المفقودة تم إجراء عمليات العزل لكل أجزاء الدولاب باستخدام مادة الاديكـــون الشفافة والمخففة بمذيب الاسيتون بنسبة ١ : ٣ وذلك لخصائصها الفيزيوميكانيكية الجيدة وذلك لقلة امتصاصها للماء وحماية أخشاب الدولاب من تأثير العوامل الجوية واعتبارهـــا كمادة ورنيش للزخارف النباتية الملونة مما يزيدها بهاء وتصبح ألوانها أكثر حيوية وأشـــد وضوحا وتناسقا وتعتبر هذه العملية من العمليات الصعبة ولذلك يتم تناولها بمنتهى الحرص والاهتمام تلافيا للأضرار التى قد تنجم عنها من تشويه للعناصر الجمالية واختلاف الألوان نتيجة لاختلاف توزيع الورنيش واختلاف بريقه ولمعانه فى الأجزاء المختلفة من الـــصورة وذلك لاختلاف سمك طبقة الورنيش وعدم توحيد الطريقة التى تتبع فى تغطية الزخـــارف النباتية بالورنيش لذلك تعتبر هذه العملية من أهم عمليات العمليـــات وكـــضرورة مـــن ضروريات الصيانة لحماية الدولاب من تأثير التغيرات البيئية المحيطة به .

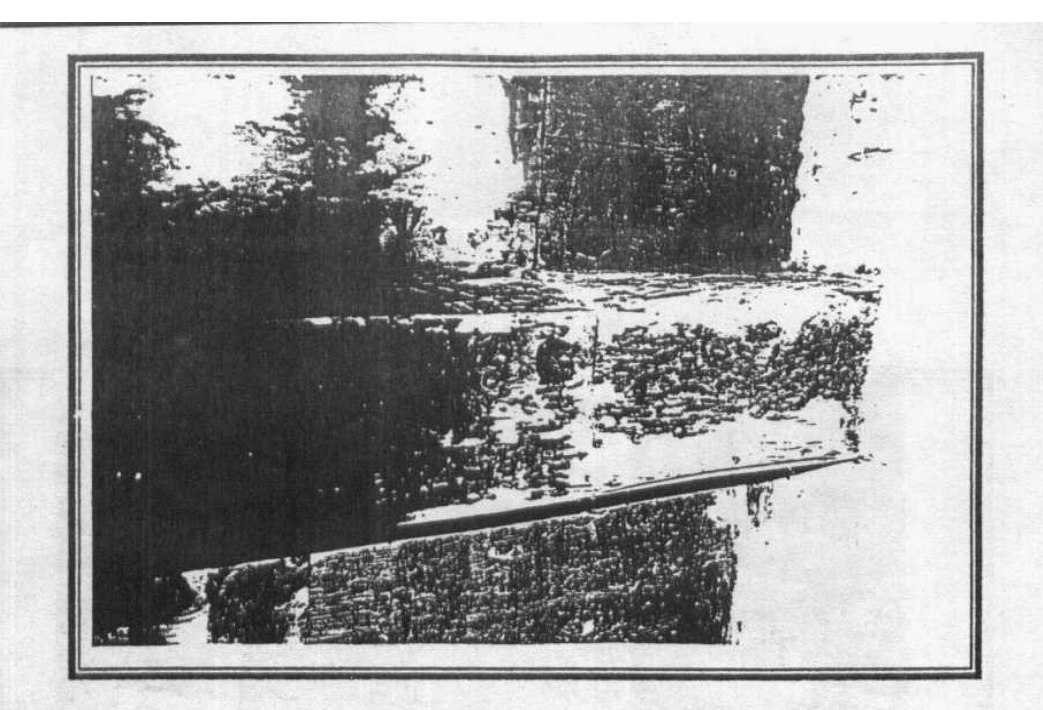
المرجع

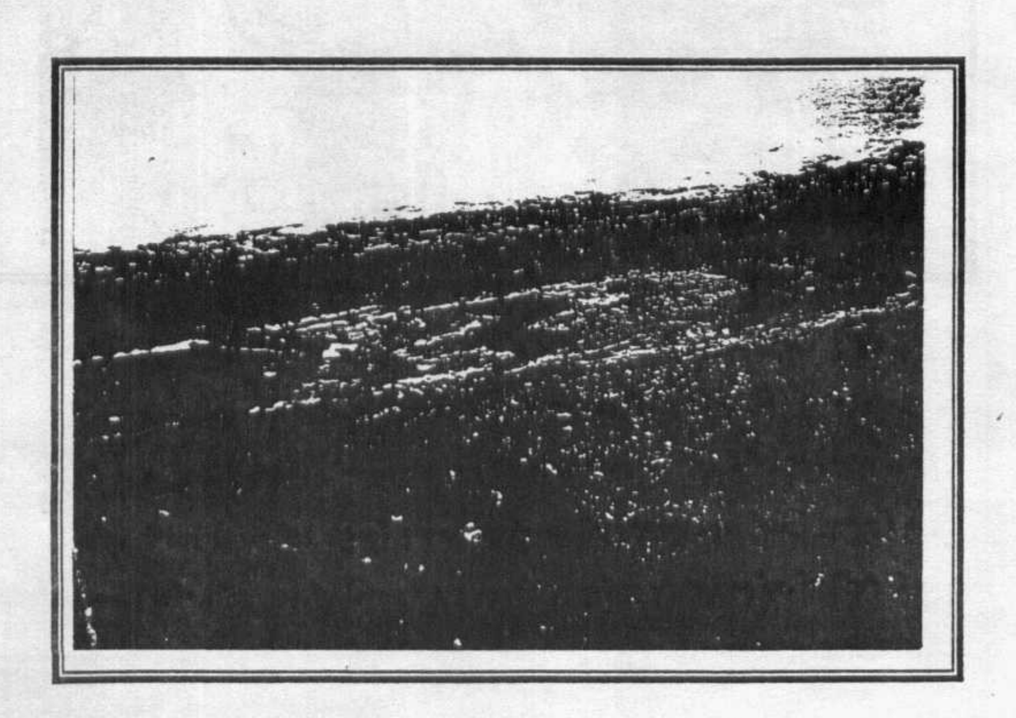
- إبراهيم عثمان – الأشجار الخشبية – القاهرة ١٩٣٨
- إبراهيم محمد عبد الله – دراسات في علاج وصيانة العناصر المعمارية والزخرفية في بعض المباني الأثرية بمدينة رشيد – رسالة دكتوراة – جامعة القاهرة – كلية الآثار – قسم الترميم ٢٠٠٠
- أحمد فخري – مصر الفرعونية – مكتبة الأنجلو المصرية – القاهرة ١٩٧١
- باهور لبيب – الفن القبطي – سلسلة كتابك – العدد ١١٨ القاهرة ١٩٧٨
- جورج تومس – الخشب كمادة أولية – ترجمة وليد عبودي قصير وآخرون – مطابع جامعة الموصل – بغداد ١٩٨٥
- حسن خطاب – الثروة النباتية في مصر القديمة – القاهرة ١٩٨٥
- رجب عزت – تاريخ الأثاث من أقدم العصور – الهيئة المصرية العامة للكتاب – القاهرة ١٩٧٨
- شادية الدسوقي : أشغال الخشب في العمائر الدينية العثمانية بمدينة القاهرة – رسالة ماجستير – كلية الآثار – جامعة القاهرة ١٩٨٤
- عبد الرؤف على يوسف – الخشب والعاج – حسن الباشا وآخرون – القاهرة ١٩٧٠
- عبد الفتاح العزازي – حفر وتشكيل الأخشاب – رسالة ماجستير – قسم الترميم – كلية الآثار – جامعة القاهرة ١٩٨٦
- عبد الوهاب السنباطي – (دكتور) محاضرات في حفر وتشكيل وتطعيم الأخشاب

- عثمان على بدران – أساسيات علوم الأشجار وتكنولوجيا الأخشاب – الطبعة الثالثة – دار المطبوعات الجديدة – القاهرة ١٩٧٩
- الفريد لوكاس – المواد والصناعات عند قدماء المصريين – ترجمة ذكي اسكندر – محمد زكريا غنيم – دار الكتاب العربي – القاهرة ١٩٤٥
- وارنر هيرت : أشغال النجارة العامة – ترجمة م. عبد المنعم عاكف – دار الأهرام ١٩٧٧
- سيرين محمد الجبيلي : علاج وصيانة الأخشاب تطبيقاً على تابوتين بالمتحف المصري ، كلية الآثار، قسم الترميم، جامعة القاهرة ، رسالة ماجستير قسم الترميم ١٩٩٧م.



رقم (٤٠) الزخارف الملونة بسقف الحجرة الجنوبية الغربية بمنزل المناديلي بعد إجراء عمليات الترميم

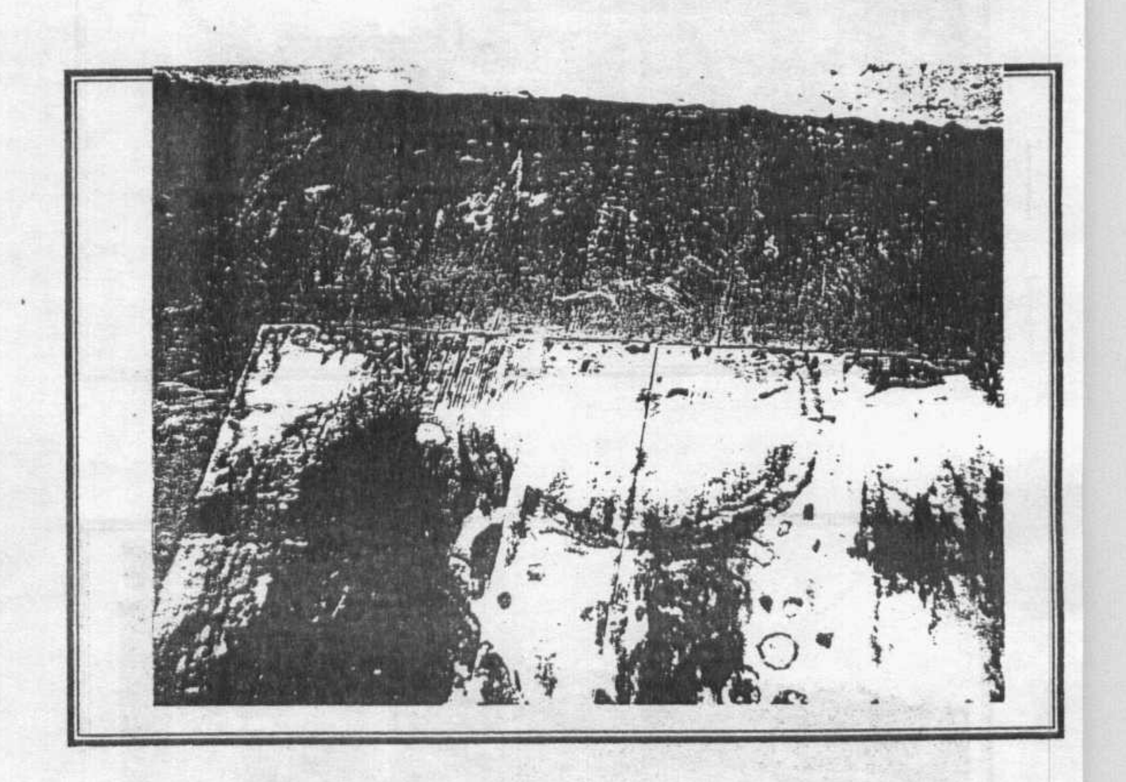




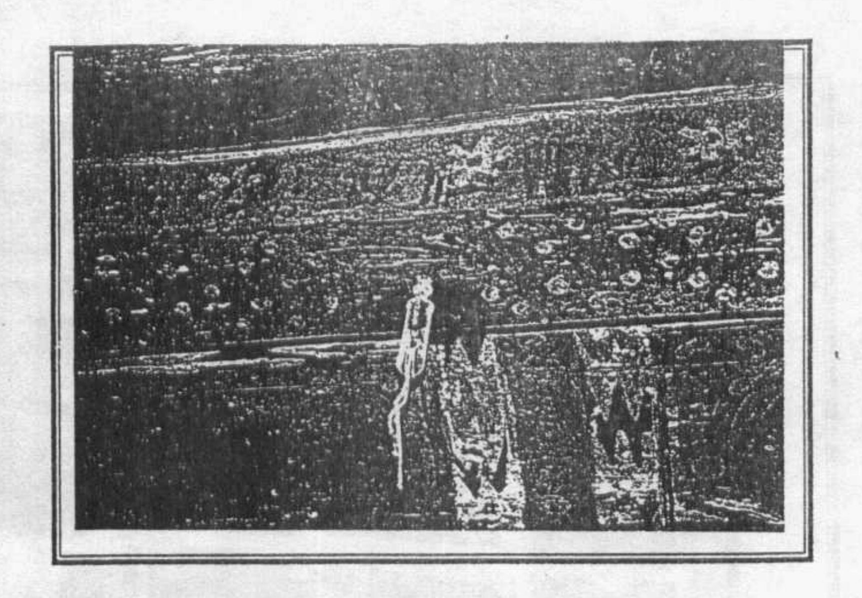
لوحة رقم (٧) أعمال التنظيف الميكانيكى للزخارف

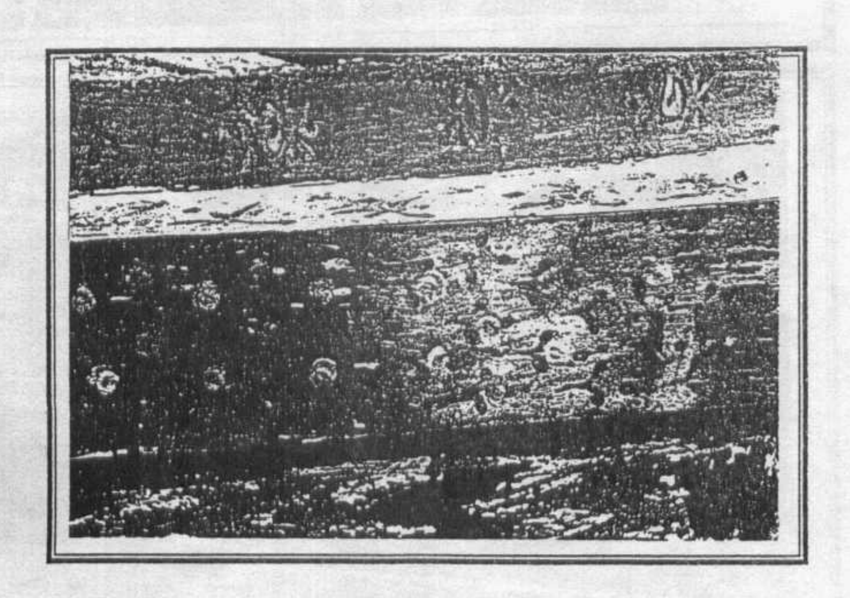
(أ) إزالة طبقة المعجون السميكة

(ب) إزالة الطرطشة الجيرية



صورة رقم (٢٠) أعمال التثبيت للألواح الخشبية الحاملة للزخارف

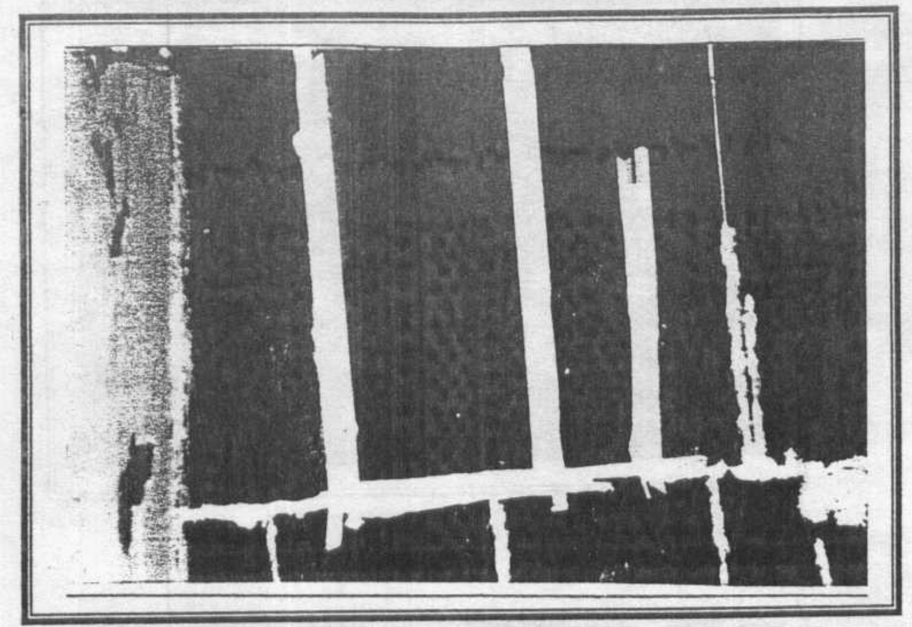


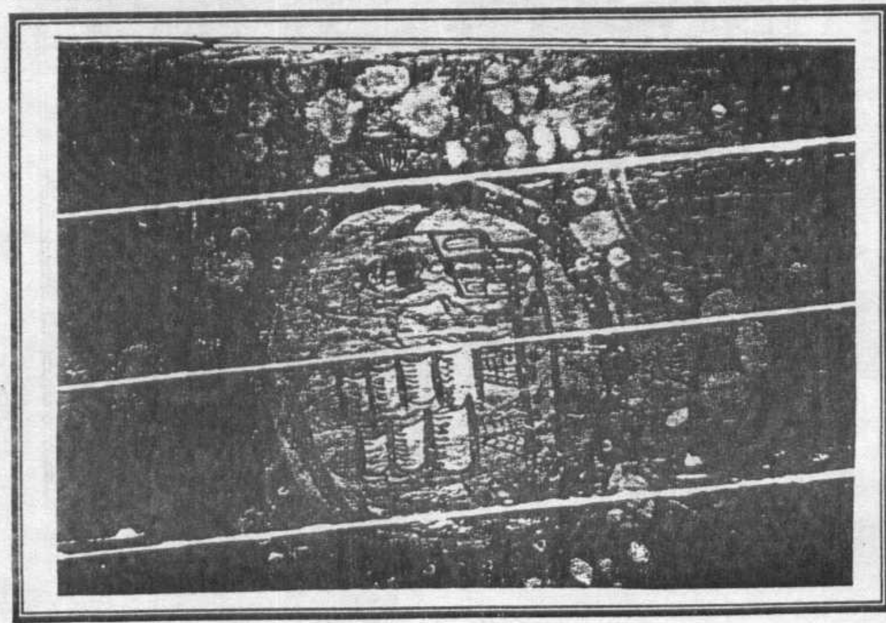


لوحة رقم (٤) أعمال التنظيف الكيميائى للزخارف النباتية

(أ) قبل التنظيف الكيميائى

(ب) أثناء التنظيف الكيميائى

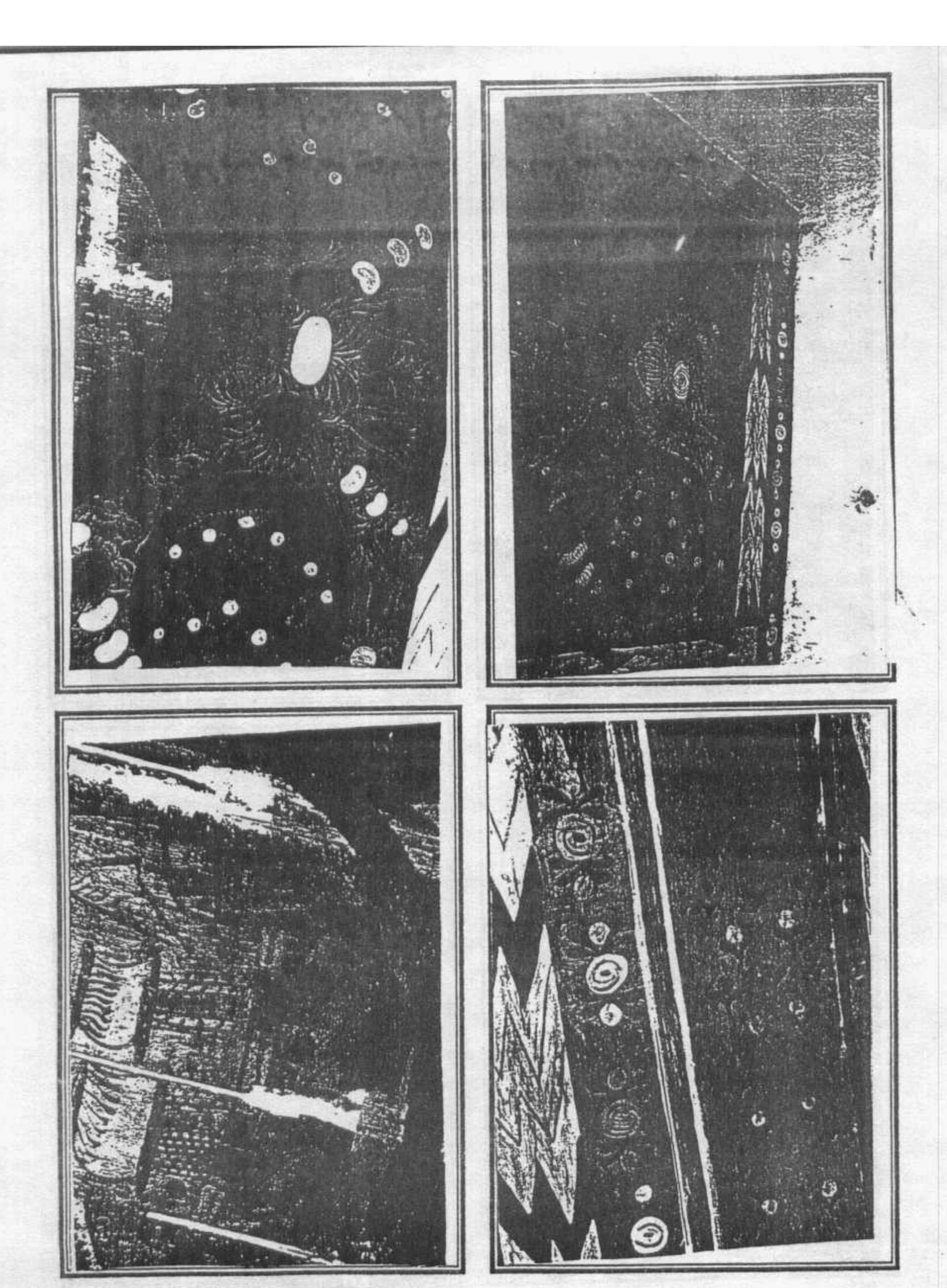




لوحة رقم (٥) سد الثقوب والفجوات والشروخ بالزخارف الملونة

(أ) وضع الشرائط اللاصقة لحماية الزخارف النباتية

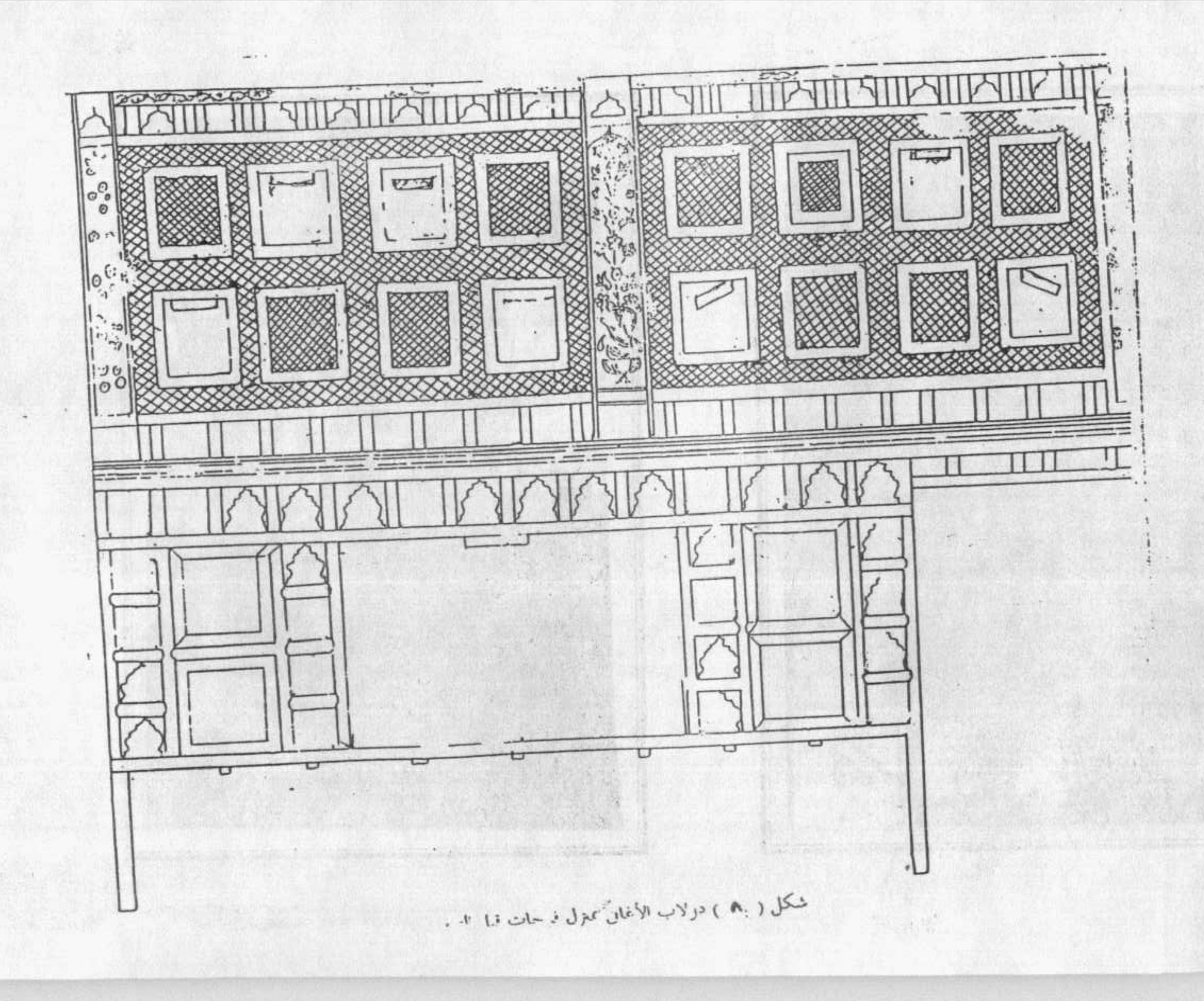
(ب) الزخارف النباتية بعد مرحلة سد الثقوب والشروخ



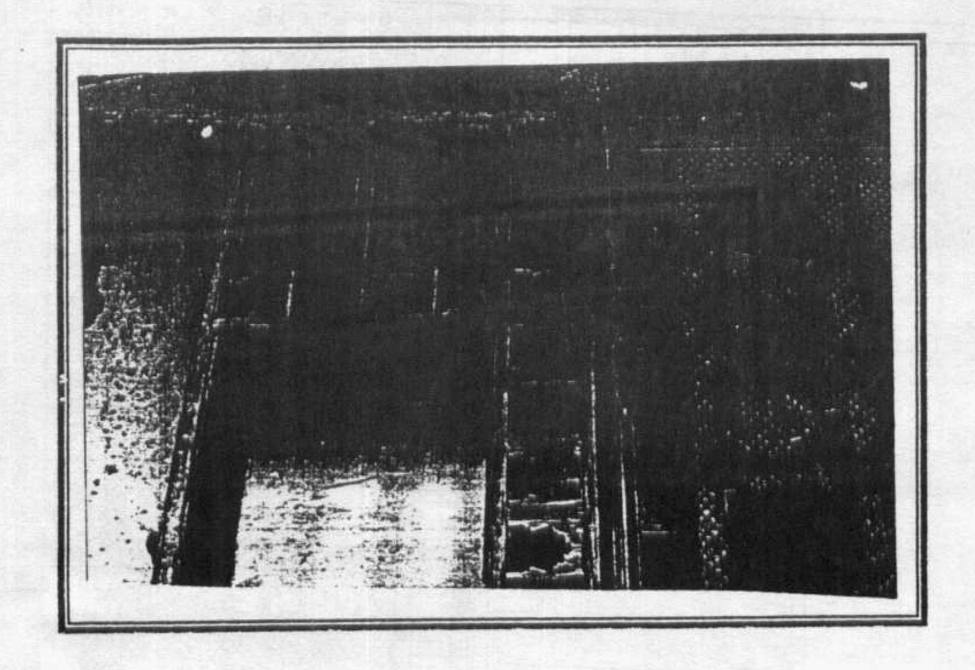
لوحة رقم (٦٠) استكمال الزخارف النباتية طبقاً للأصول الأثرية واسترشاداً بالعناصر النباتية الموجودة بواسطة الأكاسيد الملونة

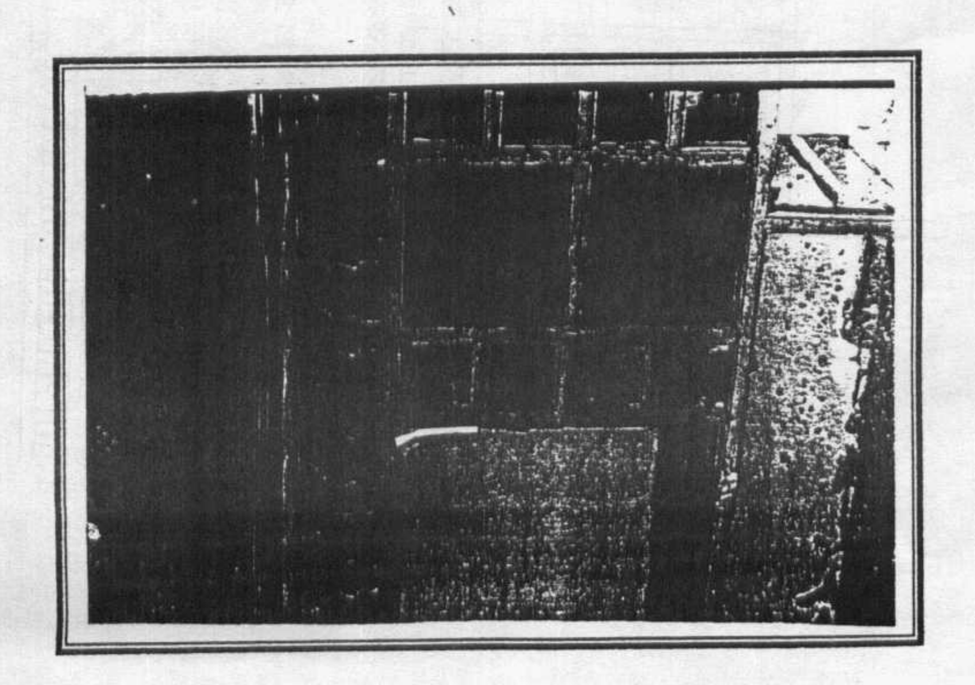


لوحة رقم (٧) الزخارف الملونة بعد الاستكمال وذلك للزخارف النباتية والأفاريز

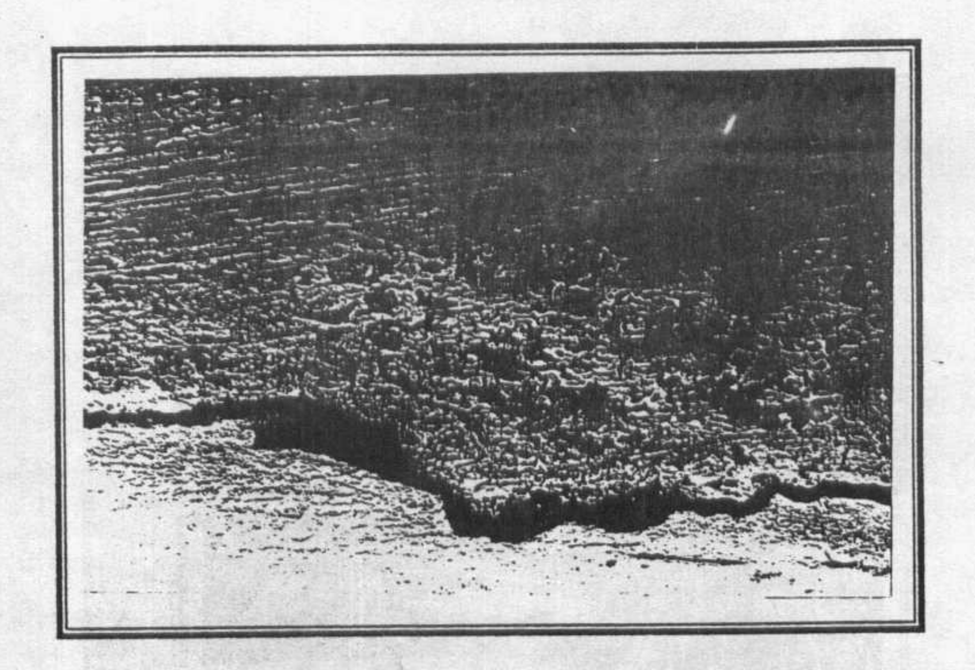


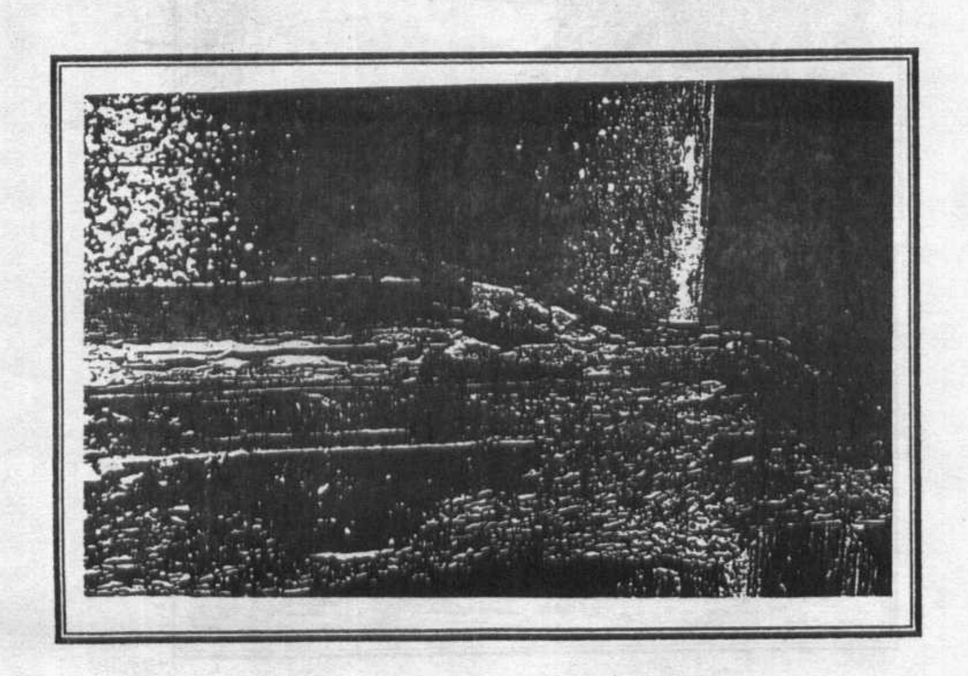
شكل (٨٠) دولاب الأغاني بمنزل فرحات قنا ٠.



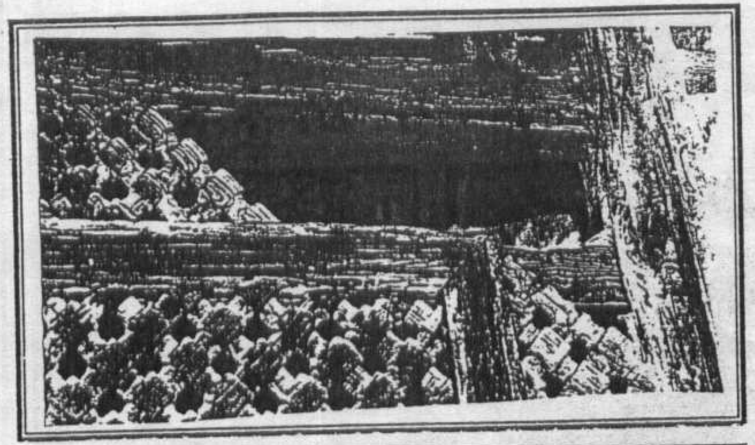


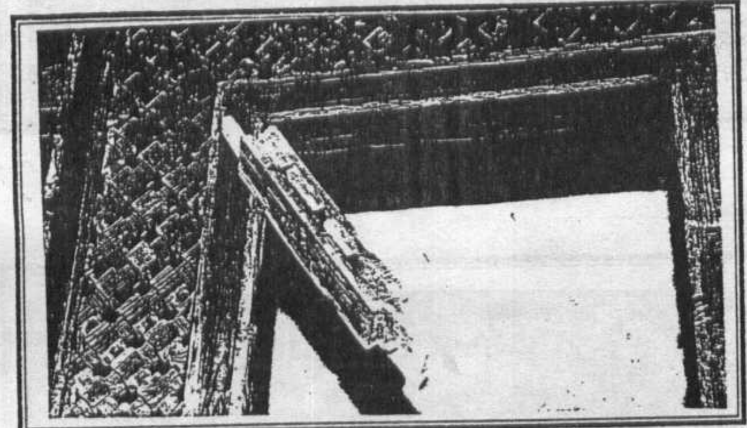
لوحة رقم (٩) مظاهر تلف مختلفة بدولاب الأغانى

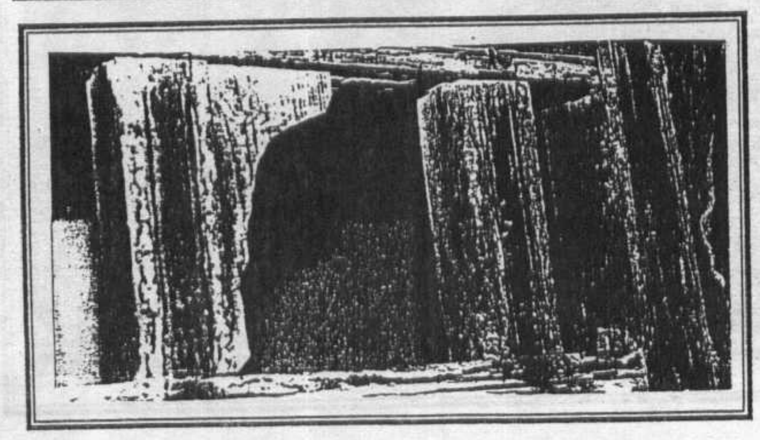




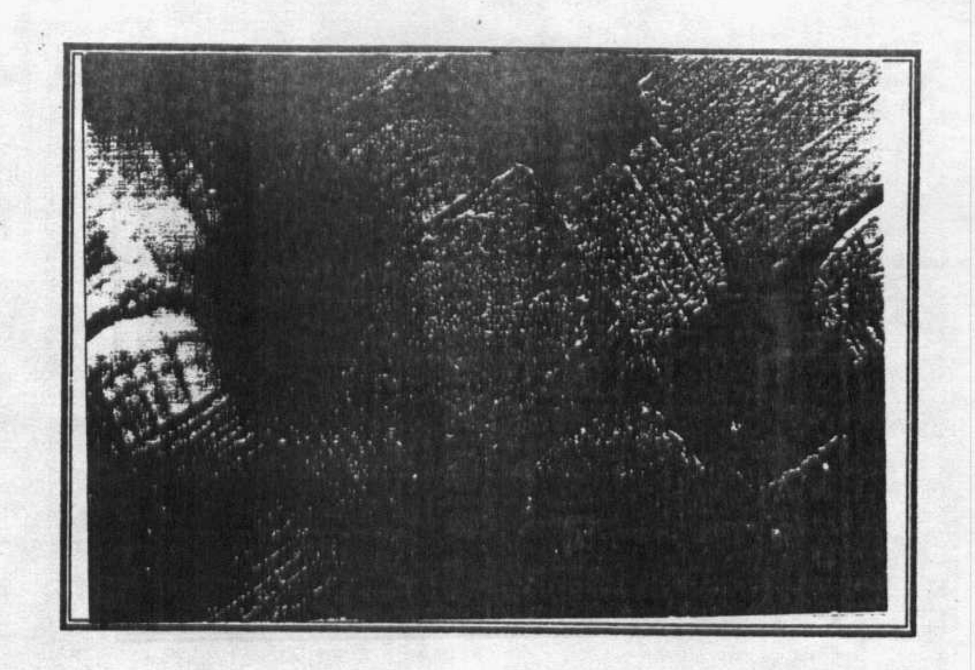
لوحة رقم (١٠) مهاجمة الحشرات لأخشاب الدولاب وما ينتج عنها من ثقوب وأنفاق وسحقها للتركيب الداخلى للخشب وتحوله إلى بودرة

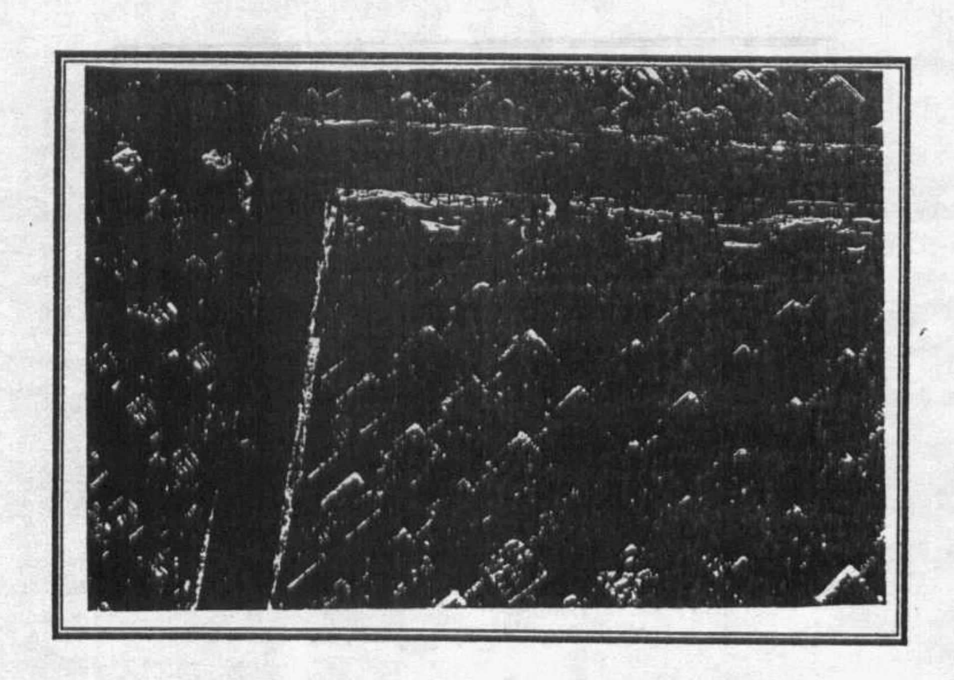






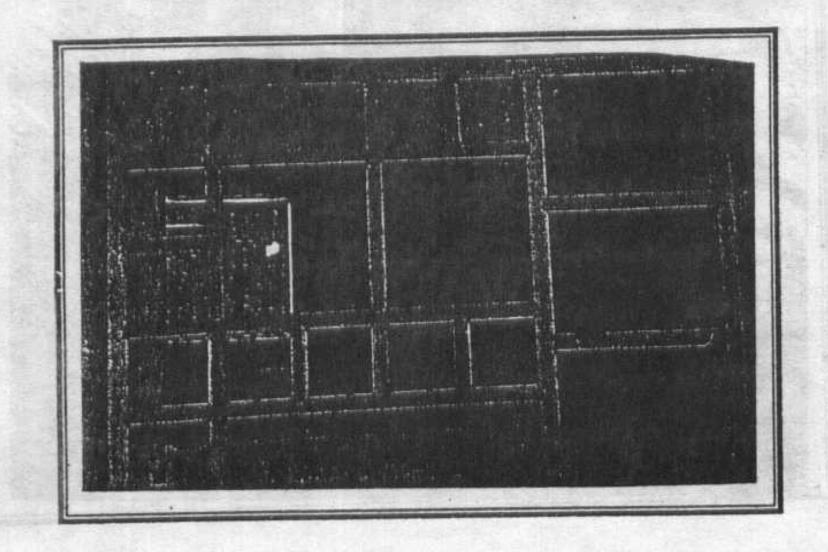
لوحة رقم (١١) فقد أجزاء كثيرة من (أ) زخارف الخرط بالجزء العلوى
(ب) الخوخ (حـ) الخورنقات

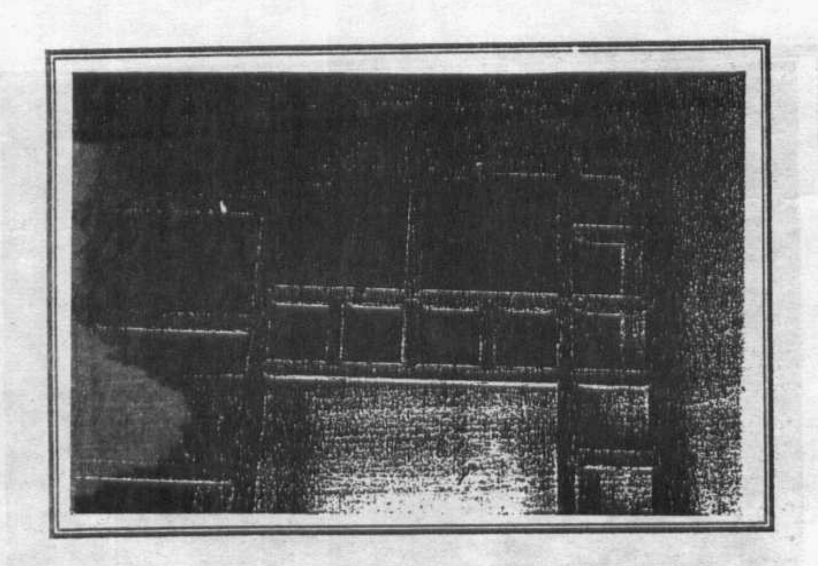




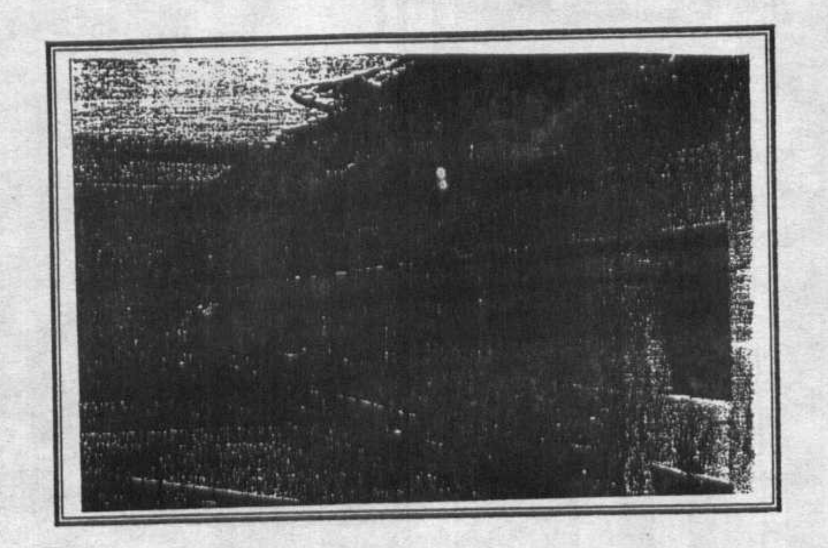
لوحة رقم (١٢) زخارف الخرط بالجزء العلوى من الدولاب ونلاحظ وجود بقايا مواد ملونة

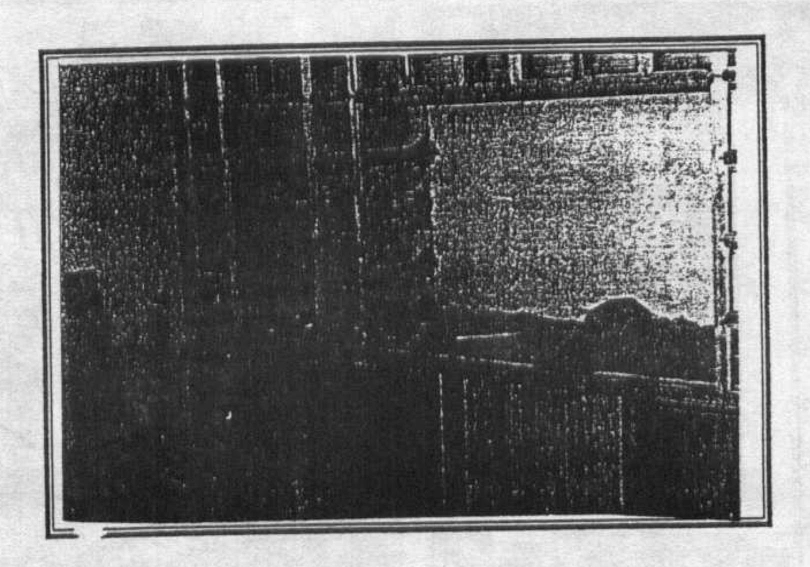
تزخرف الخوخ وباقى الجزء العلوى من الدولاب



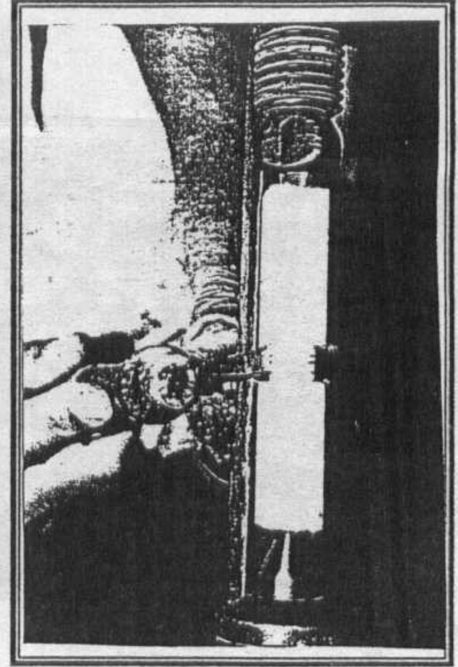


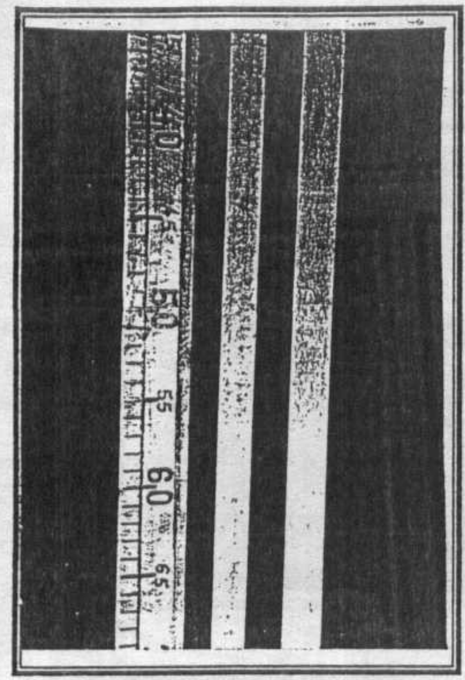
لوحة رقم (١٣١) الهيكل الخشبي المصنع من خشب الصنوبر
للجزء السفلي من دولاب الأغاني بمنزل فرحات

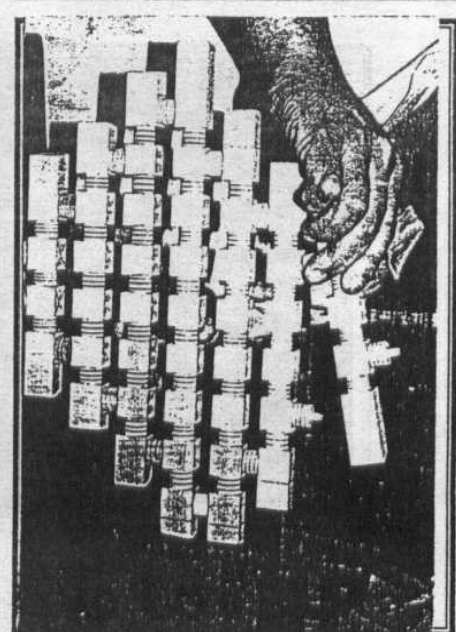


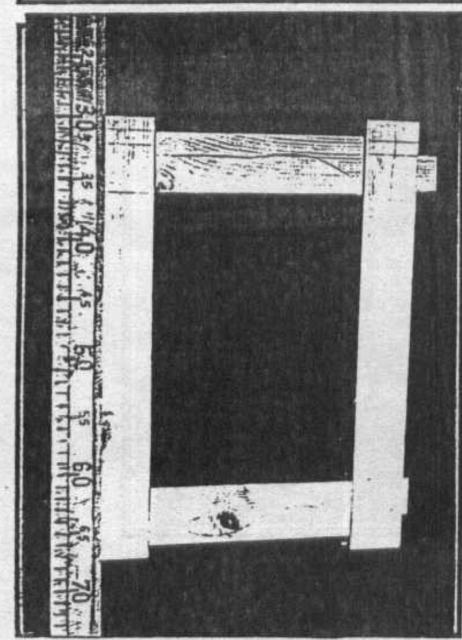


لوحة رقم (٤٤) إعادة تركيب الجزء السفلى من الدولاب بعد تركيب الهيكل الخشبى المصنع له
واستخدام الأجزاء الخشبية السليمة القديمة به

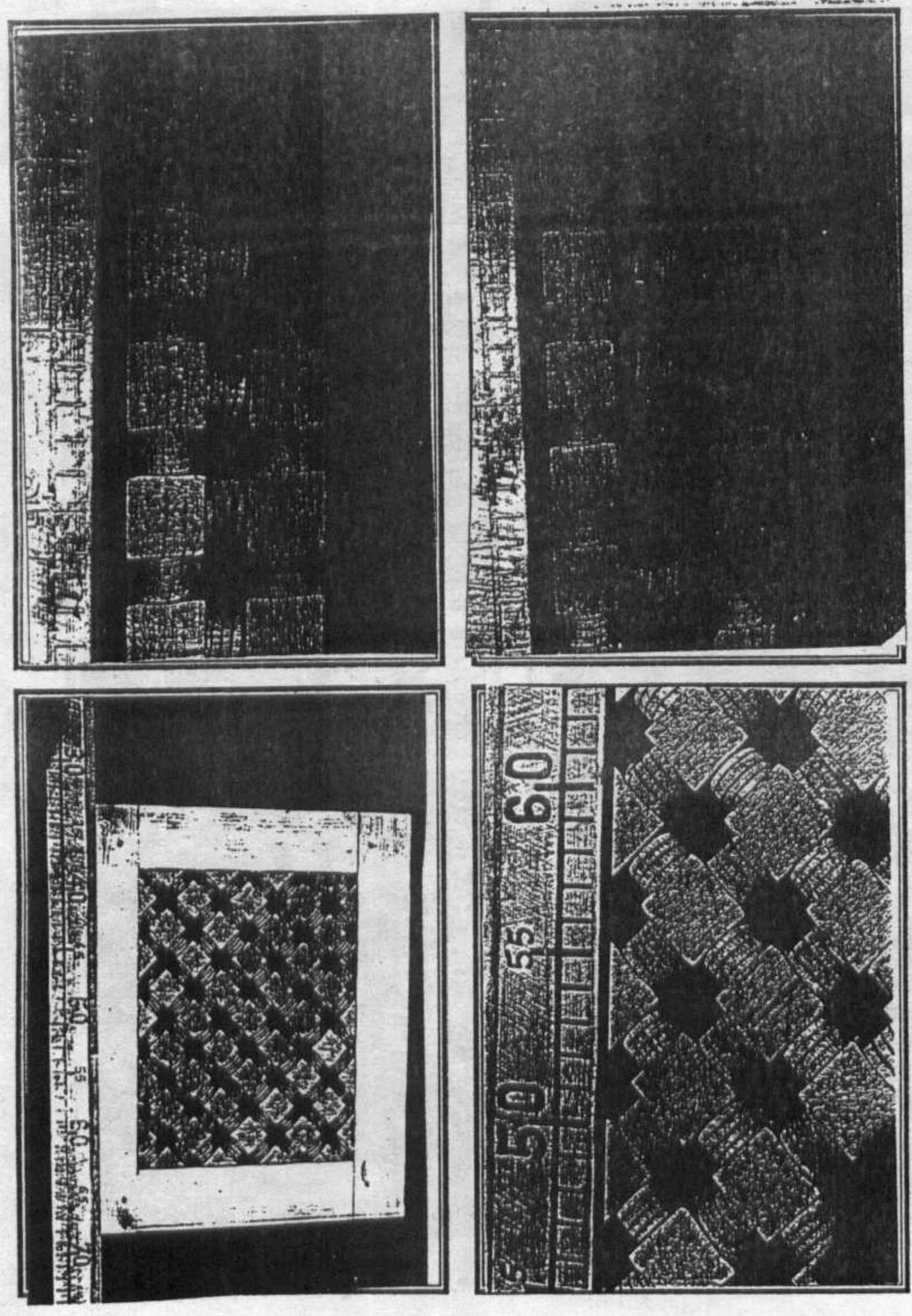




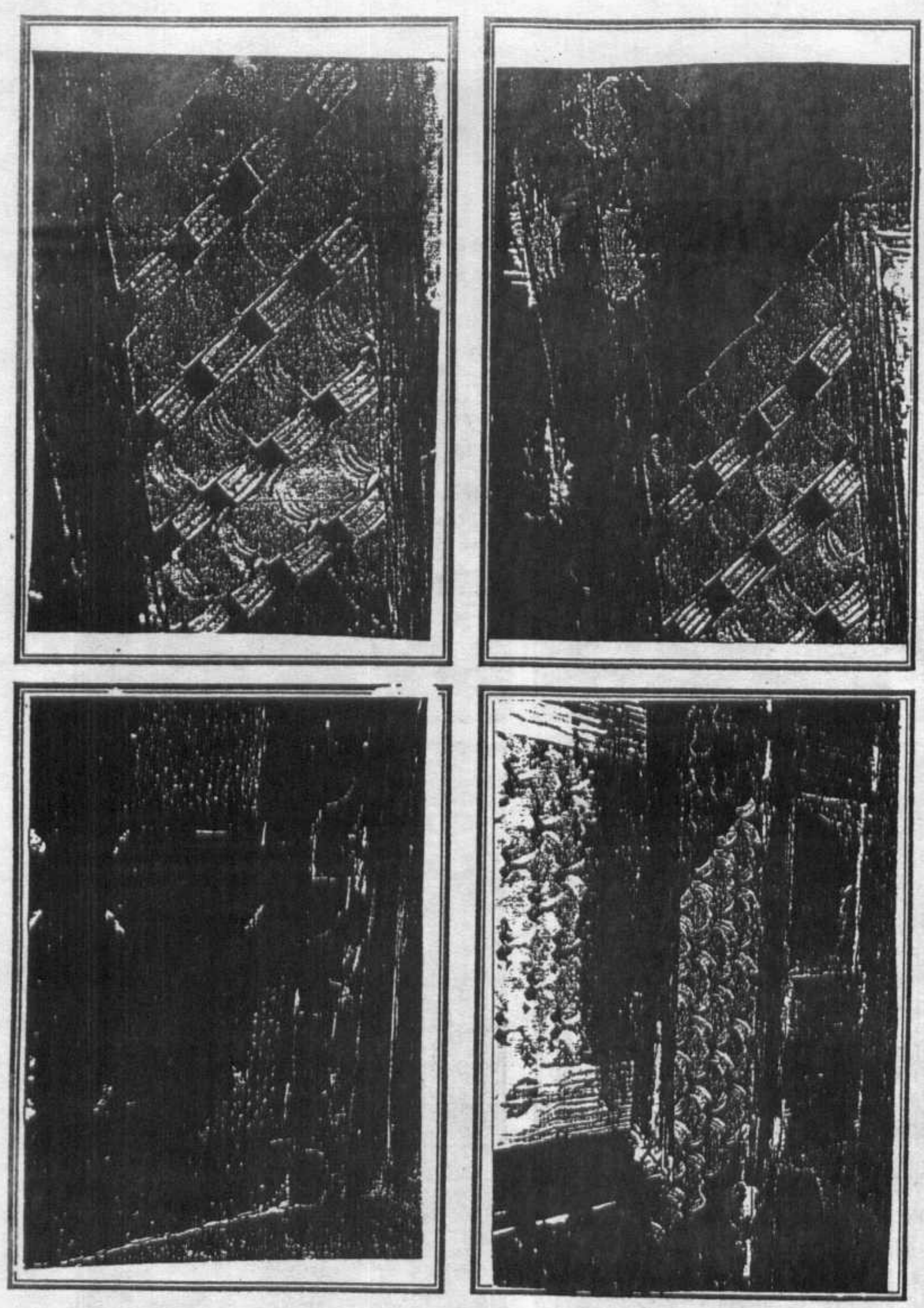




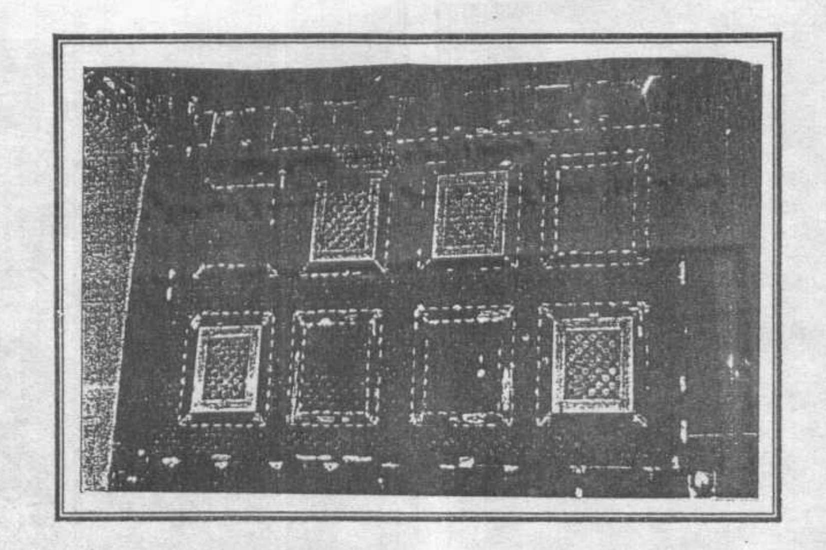
لوحة رقم (١٥) مراحل عملية التصنيع للخرط الميموني المربع المائل للخوخ المفقودة بدولاب الأغاني

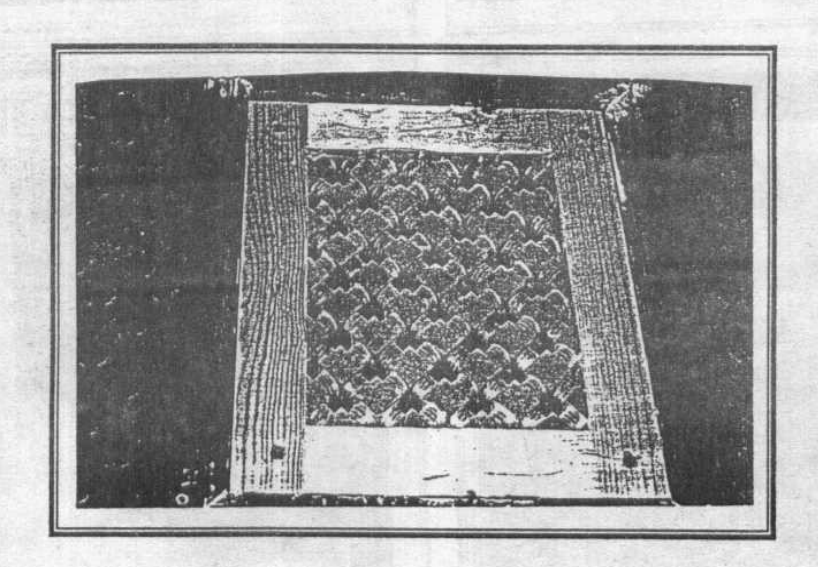


لوحة رقم (١٦) مراحل التجميع لأفرخ وبرامق الخرط الميمونى المربع المائل بخوخ دولاب الأغانى

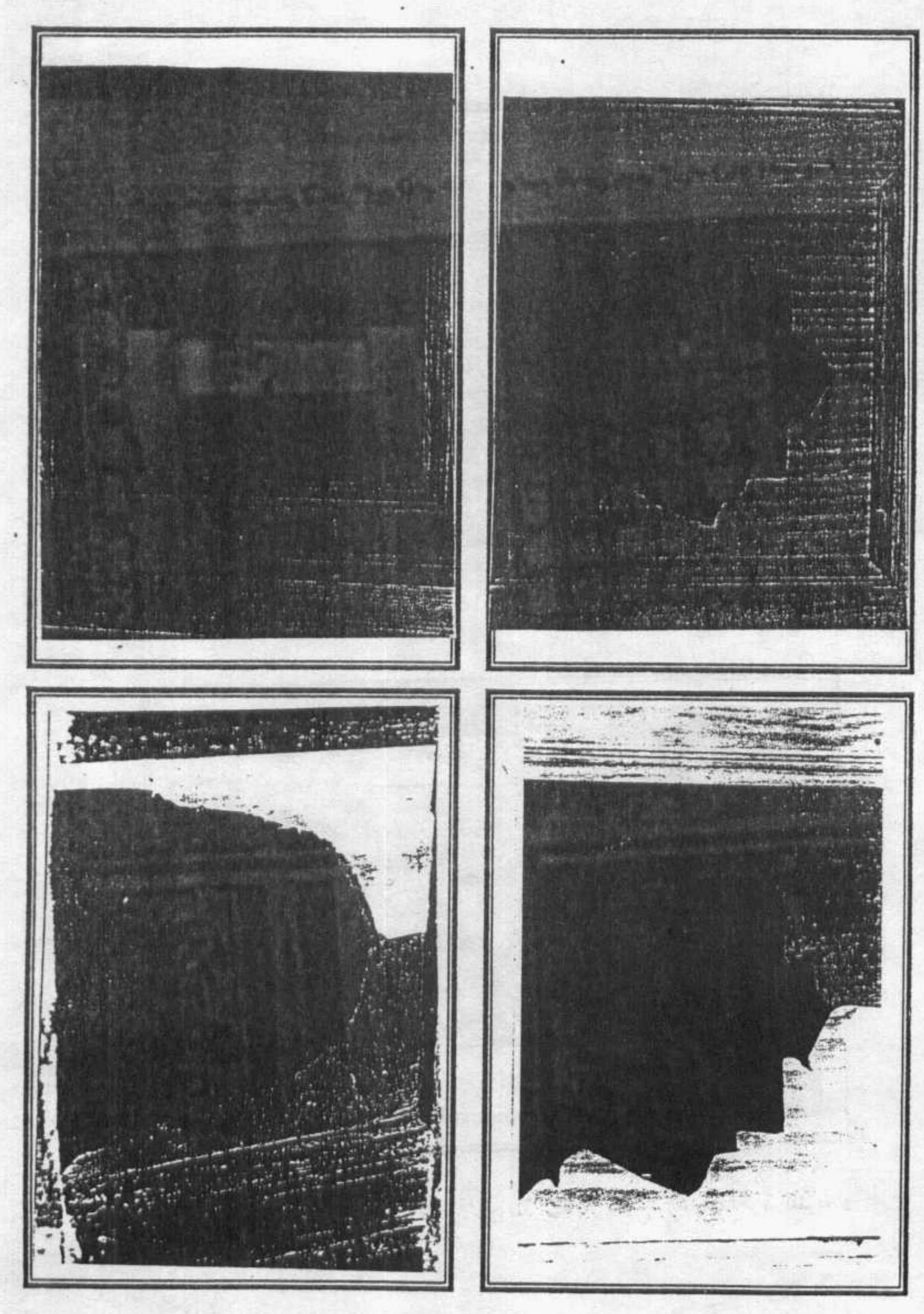


لوحة رقم (١٧) مراحل استكمال الخرط الميموني المربع المائل للأجزاء المفقودة من دولاب الأغاني

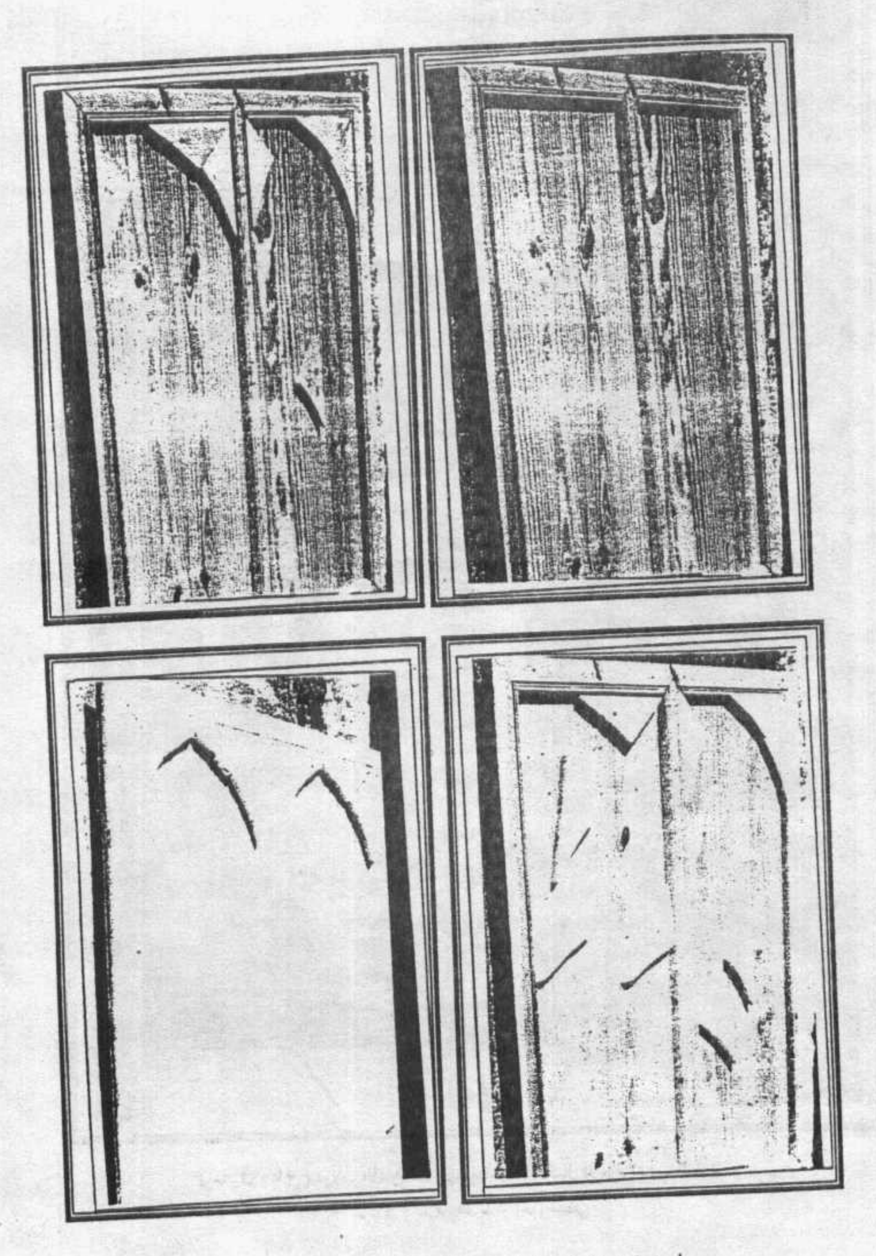




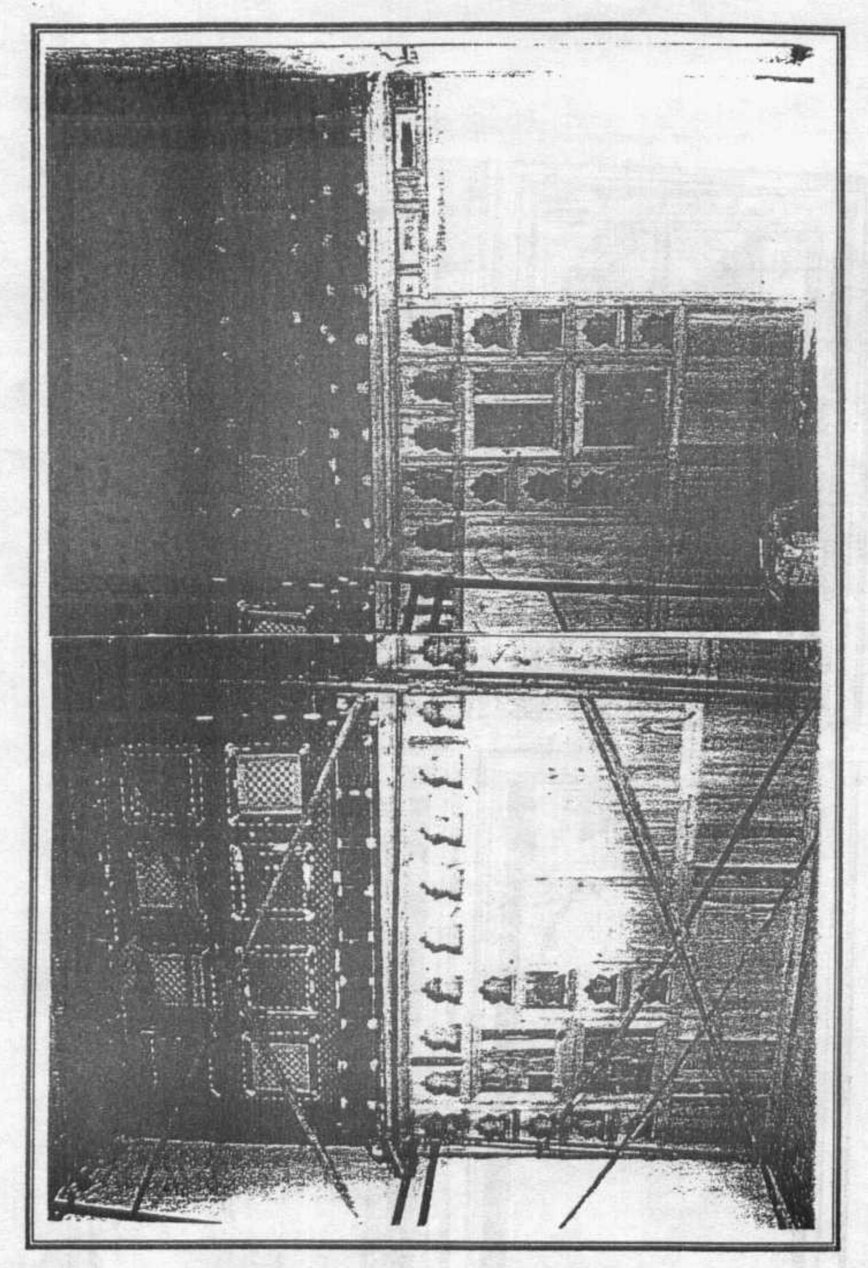
لوحة رقم (١٠٨) الجزء العلوى من دولاب الأغانى بعد استكمال الخوخ وزخارف الخرط المفقودة به



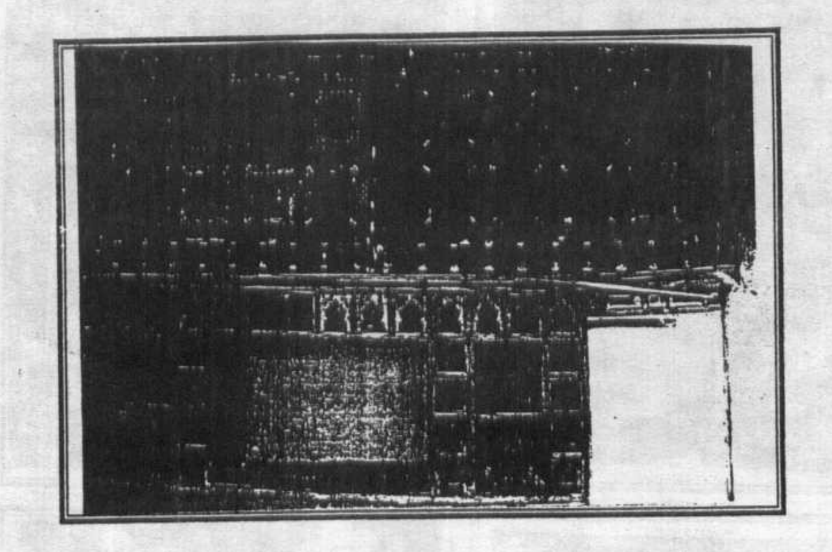
لوحة رقم (١٩) نماذج مختلفة لعملية الاستكمال للخورنقات الموجودة بالدولاب

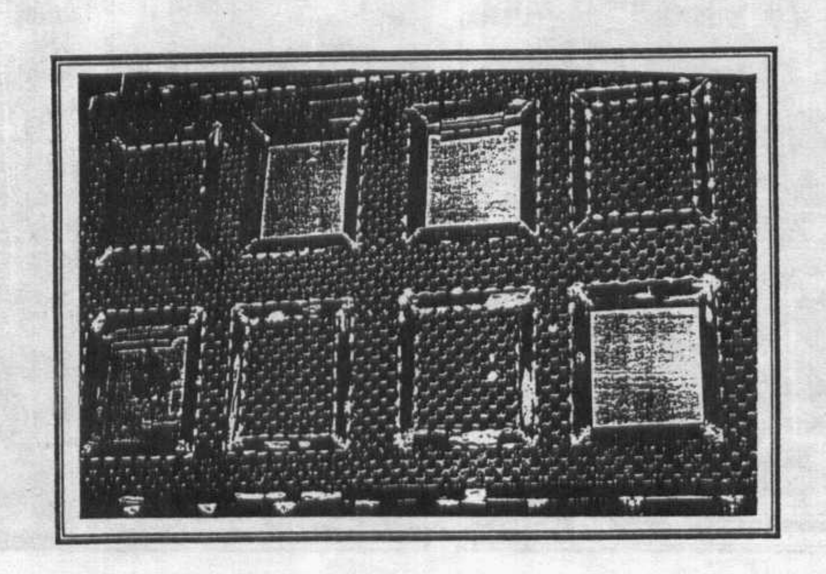


لوحة رقم (٧٠) مراحل استكمال الضلف الخشبية بدولاب الأغاني

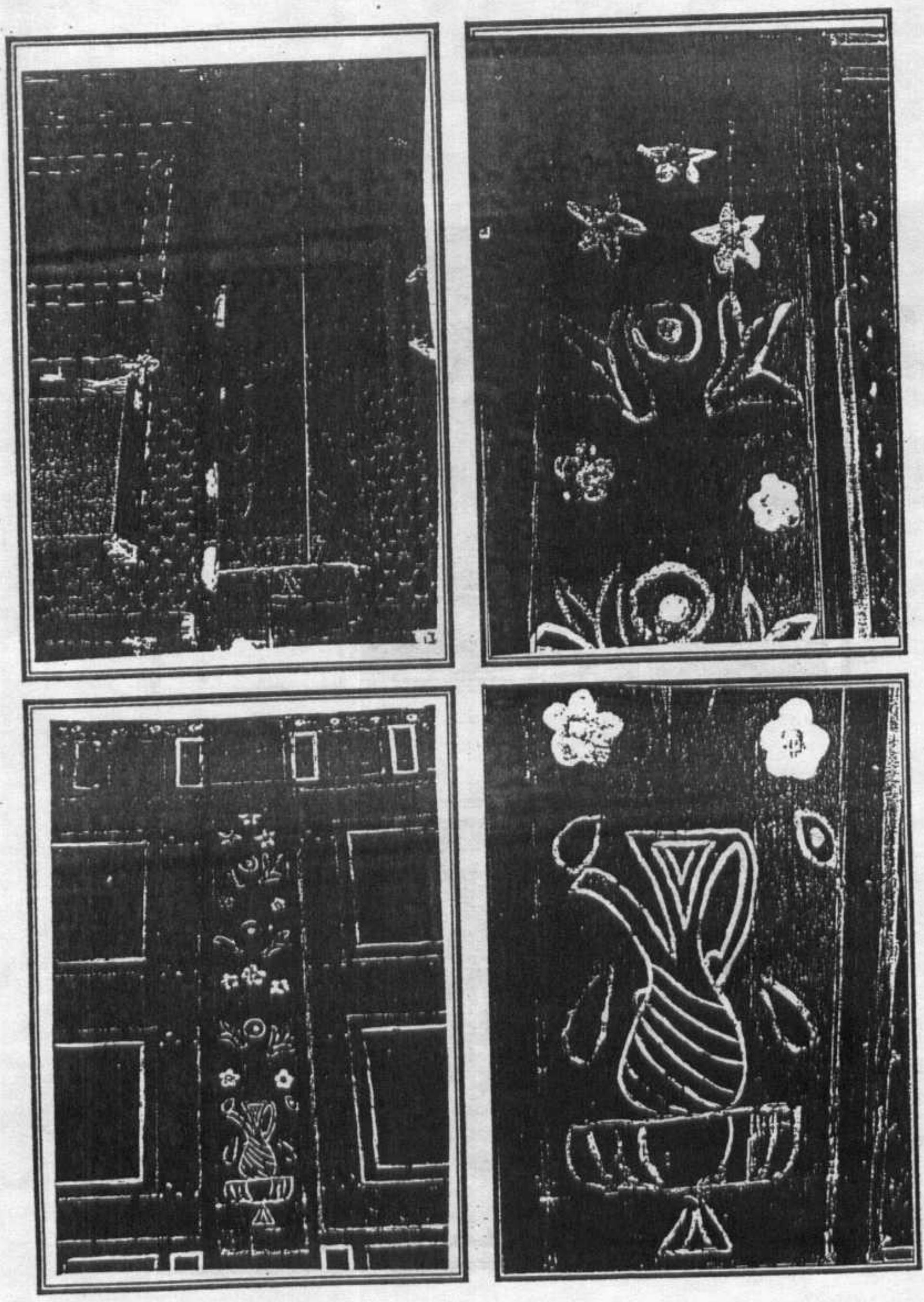


لوحة رقم (٧١) دولاب الأغاني بعد انتهاء مراحل الاستكمال للأجزاء الخشبية المفقودة به
سواء في زخارف الخرط أو الجزء السفلي

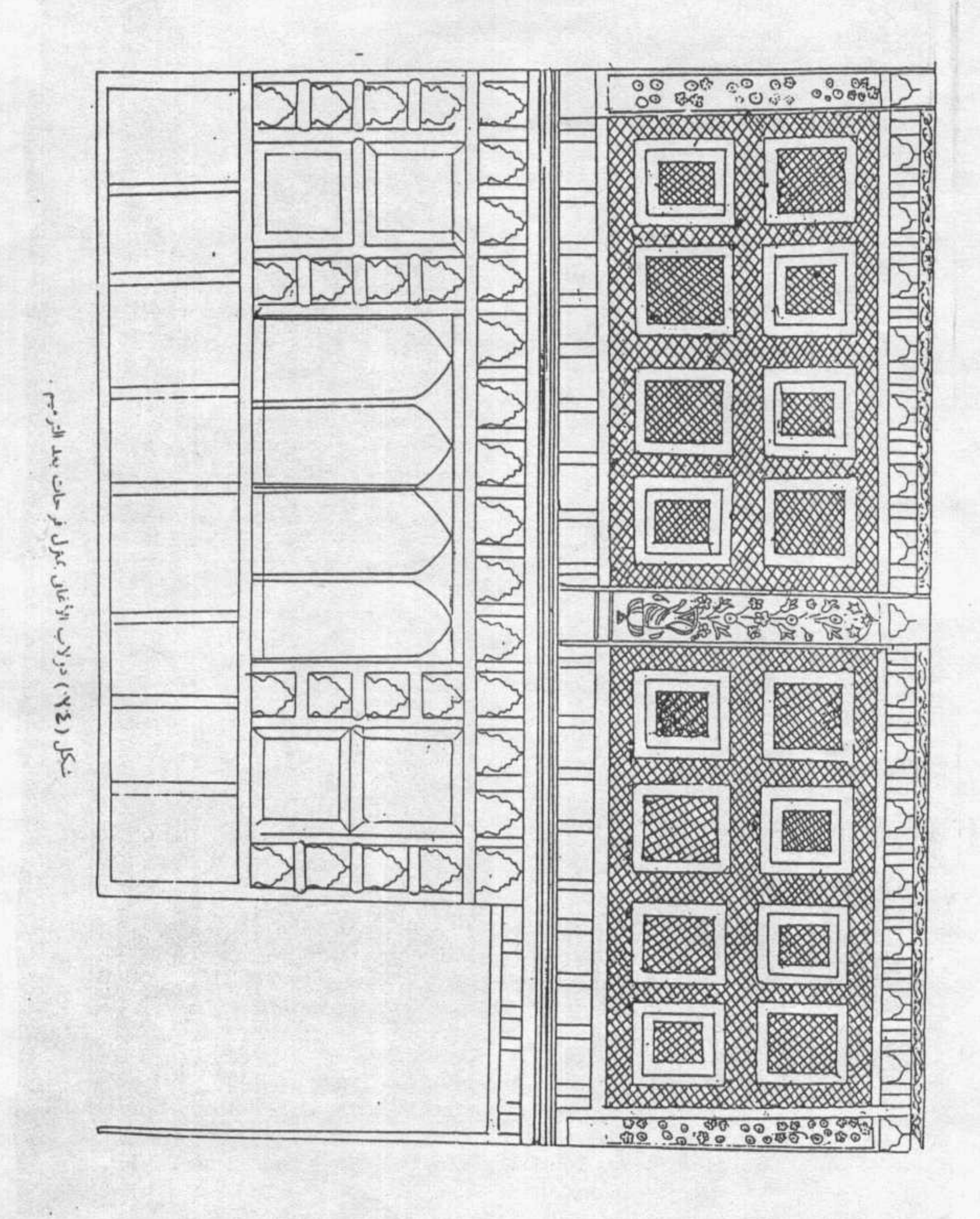




لوحة رقم (٢٢) مراحل استكمال الفجوات والشروخ بزخارف الخرط والزخارف النباتية بدولاب الأغاني



لوحة رقم (٣٣) الزخارف النباتية الوسطى بعد عمليات الاستكمال لأجزائها المفقودة



شكل (٧٤) دولاب الأغاني بمنزل فرحات بعد الترميم